

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

«На правах рукопису»  
УДК 620.92

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) Валерій ДЕШКО  
(ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та інжиніринг  
теплоенергетичних систем»

на тему: «Впровадження сучасного інженерного обладнання для підвищення  
енергоефективності офісної будівлі»

Виконала: студентка II курсу, групи ОТ – 391мп  
(шифр групи)

Татаренко Дар'я Павлівна

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник д.т.н., професор Фаренюк Г.Г.

\_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультанти:

Електротехнічна частина к.т.н., доцент Замулко А.І. \_\_\_\_\_

Стартап-проект к.т.н., доцент Шевчук Н.А. \_\_\_\_\_

Моделювання енергетичних процесів і систем к.т.н., доцент Суходуб І.О. \_\_\_\_\_

Нормоконтроль к.т.н., доцент Шкляр В.І. \_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студентка \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

Інститут (факультет) Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повна назва)

Кафедра Теплотехніки та енергозбереження  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та інжиніринг  
теплоенергетичних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Валерій ДЕШКО  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту  
Татаренко Дар'ї Павлівні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Впровадження сучасного інженерного обладнання для  
підвищення енергоефективності офісної будівлі»

\_\_\_\_\_,  
науковий керівник дисертації Фаренюк Геннадій Григорович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» 11 2020 р. № 3198-с \_\_

2. Термін подання студентом дисертації 07 грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження проектowana офісна будівля в м. Києві

4. Вихідні дані до магістерської дисертації опалювальна площа – 202,4 м<sup>2</sup>,  
опалювальний об'єм – 586,96 м<sup>3</sup>, кількість співробітників – 30 ос.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) розрахувати показники  
енергоспоживання будівлі у початковому стані; 2) розрахувати  
енергоспоживання будівлі при використанні сучасного обладнання –  
конденсаційного котла, теплових насосів; 3) розрахувати клас ефективності  
будівлі у початковому стані; 4) розрахувати клас енергоефективності будівлі

при застосуванні сучасного інженерного обладнання; 5) провести математичне моделювання застосування теплових насосів

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: 2 аркуші формату А1 - (Назва) Презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Електротехнічна частина	доцент Замулко А.І.		
Стартап-проект	доцент Шевчук Н.А.		
Моделювання енергетичних процесів і систем	доцент Суходуб І.О.		
Нормоконтроль	доцент Шкляр В.І.		

9. Дата видачі завдання 02.09. 2020 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<i>Загальні відомості про об'єкт дослідження</i>	<i>26.10. 2020 - 11.11. 2020</i>	
2	<i>Інжиніринг енергетичних систем</i>	<i>26.10. 2020 -07.12. 2020</i>	
3	<i>Науково-дослідний інжиніринг</i>	<i>26.10. 2020 - 07.12. 2020</i>	
4	<i>Енергоменеджмент та моніторинг</i>	<i>26.10. 2020 - 09.11. 2020</i>	
5	<i>Стартап-проект</i>	<i>02.11. 2020 - 07.12. 2020</i>	
6	<i>Нормативне оформлення магістерської дисертації</i>	<i>30.11.2020-07.12. 2020</i>	
7	<i>Попередній захист</i>	<i>07.12.2020-12.12.2020</i>	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Д.П.Татаренко  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_  
(підпис)

Г.Г.Фаренюк  
(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація «Впровадження сучасного інженерного обладнання для підвищення енергоефективності офісної будівлі» складається з 111 сторінок, 35 рисунків, 62 таблиць, а також містить 19 джерел в переліку посилань.

Актуальність теми полягає в ефективному використанні теплових насосів в якості теплогенераторів у індивідуальних системах опалення.

Метою даного дослідження є розрахунок річного енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та ГВП для оцінки загального енергоспоживання та визначення класу енергетичної ефективності будівлі з врахуванням енергії виходу та загальних тепловтрат підсистеми виробництва та акумулювання теплоти для декількох видів теплогенераторів.

Завдання дослідження – розрахувати теплопередачу трансмісією та вентиляцією, внутрішні та сонячних теплонадходження, річну енергопотребу для опалення та охолодження, річне енергоспоживання при опаленні та охолодженні, гарячому водопостачанні (далі - ГВП) та освітленні, визначення класу енергетичної ефективності будівлі.

Об'єкт дослідження – офісна будівля, що проектується.

Предмет дослідження – вивчення впливу сезонної ефективності виробництва/генерування теплоти на клас енергоефективності будівлі

Наукова новизна магістерської дисертації полягає у дослідженні використання теплових насосів для індивідуальної системи опалення.

Отримані результати, запропоновані методики та підходи можуть використовуватись для аналізу ефективності теплових насосів.

Ключові слова та словосполучення: енергозбереження, енергоефективність, паливно-енергетичні ресурси, енергозберігаючі заходи, тепловтрати, енергоресурси, тепловий насос.

## ABSTRACT

The master's thesis «Implementation of modern engineering equipment to improve the energy efficiency of the office building» consists of 111 pages, 35 figures, 62 tables, and also contains 19 sources in the list of references.

The relevance of the topic lies in the efficient use of heat pumps as heat generators in individual heating systems.

The purpose of this study is to calculate the annual energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water to assess the total energy consumption and determine the energy efficiency class of the building taking into account the energy output and total heat loss subsystem production and heat storage for several types of heat generators.

The objectives of the study are to calculate heat transfer by transmission and ventilation, internal and solar heat supply, annual energy consumption for heating and cooling, annual energy consumption for heating and cooling, hot water supply (hereinafter - DHW) and lighting, determining the energy efficiency class of the building.

The object of research is the projected office building.

The subject of research is to study the influence of seasonal efficiency of production / heat generation on the energy efficiency class of a building

The scientific novelty of the master's dissertation is to study the use of heat pumps for individual heating systems.

The obtained results, proposed methods and approaches can be used to analyze the efficiency of heat pumps.

Keywords and phrases: Energy saving, energy efficiency, fuel and energy resources, energy saving measures, heat loss, energy resources, heat pump.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СКОРОЧЕНЬ .....	9
ВСТУП .....	10
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	12
1.1 Загальні відомості про об'єкт дослідження .....	12
1.2 Кліматичні дані та параметри мікроклімату будівлі.....	12
Висновки до розділу .....	13
2 ІНЖИНІРИНГ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ .....	14
2.1 Обстеження огорожувальних конструкцій.....	14
2.1.1 Аналіз відповідності системи нормативним вимогам .....	14
2.1.2 Розрахунок тепловтрат трансмісією та вентиляцією .....	19
2.1.3 Внутрішні теплонадходження .....	25
2.1.4 Теплове випромінювання в атмосферу .....	29
2.1.5 Розрахунок динамічних властивостей будівлі.....	32
2.1.6 Розрахунок енергопотреб на опалення та охолодження .....	34
2.1.7 Розрахунок енергопотреб на ГВП.....	35
2.1.8 Визначення класу енергоефективності за енергопотребою ....	36
2.2 Джерела тепло забезпечення.....	37
2.3 Система опалення .....	38
2.3.1 Розрахунок рівня енергоспоживання системи опалення, охолодження та ГВП.....	40
2.3.2 Визначення класу енергетичної ефективності будівлі .....	48
2.3.4 Пропозиції щодо енергозбереження .....	49
2.4 Дослідження системи електропостачання.....	55
2.4.1. Аналіз сучасного стану постачання електричної енергії .....	55

2.4.2. Аналіз поточного технічного стану системи електропостачання .....	56
2.4.3 Шляхи підвищення ефективності використання системи електропостачання для забезпечення електричною енергією .....	61
2.4.4. Пропозиції щодо модернізації системи електропостачання об'єкту для реалізації завдань магістерської дисертації.....	64
Висновки по розділу .....	68
<b>3 ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОГО ІНЖЕНЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ .....</b>	<b>69</b>
3.1 Підвищення рівня енергоефективності офісної будівлі при застосуванні газового конденсаційного котла .....	69
3.2 Підвищення рівня енергоефективності офісної будівлі при застосуванні теплового насосу типу «повітря-вода» .....	73
3.2.1 Підбір теплового насосу за допомогою КР Vaillant.....	74
3.2.2 Підбір та аналіз теплового насосу за допомогою програмного середовища GeoTSol.....	78
3.3 Підвищення рівня енергоефективності офісної будівлі при впровадженні теплового насосу типу «грунт-вода».....	84
3.3.1 Підбір теплового насосу за допомогою КР Vaillant.....	85
3.3.2 Підбір та аналіз теплового насосу за допомогою програмного середовища GeoTSol.....	88
Висновки по розділу .....	95
<b>4 ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА МОНІТОРИНГ .....</b>	<b>96</b>
4.1 Завдання енергетичного менеджменту .....	96
4.2 Аналіз існуючої ситуації .....	97
4.3 Запропонована структура енергоменеджменту на об'єкті .....	97

Висновки до розділу .....	97
5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ У СХЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ОФІСНОЇ БУДІВЛІ.....	98
5.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту .....	98
5.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап- проекту .....	100
5.3 Аналіз конкурентного середовища .....	101
5.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту .....	<b>Помилка!</b>
<b>Закладку не визначено.</b>	
5.5 Ключові види діяльності та ключові партнери.....	103
5.6 Фінансове обґрунтування стартап-проекту.....	104
5.7 Рівень рентабельності ідеї.....	107
5.8 Вартість виробництва інноваційної технології.....	108
5.9 Цільова група потенційних споживачів .....	109
5.10 Канал збуту .....	109
5.11 Бізнес-модель.....	109
Висновки по розділу .....	110
ВИСНОВКИ.....	112
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	113
ДОДАТОК А.....	115



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СКОРОЧЕНЬ

### Умовні позначення та символи

- $t_{\text{вн.}}$  – внутрішня температура в приміщеннях будівлі;  
 $t_{\text{р.о.}}$  – розрахункова температура зовнішнього повітря на опалення;  
 $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;  
 $\delta$  – товщина;  
 $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;  
 $R$  – опір теплопередачі;  
 $U$  – коефіцієнт теплопередачі;  
 $n_o$  – тривалість опалювального періоду;

### Скорочення

- ОК – огорожувальні конструкції;  
ЛБ – люмінесцентні лампи;  
LED – світлодіодні лампи;  
ТП – трансформаторна підстанція;  
ЩО – щит освітлення;  
ТН – тепловий насос;  
СЕМ – система енергетичного менеджменту.

## ВСТУП

В наш час проблема енергозбереження та підвищення енергоефективності є однією з найважливіших в усьому світі, адже стрімке зростання рівня життя та потреб людей на ряду з вичерпанням паливно-енергетичних ресурсів та стрімким й серйозним погіршенням стану оточуючого середовища створює великі проблеми для сучасного суспільства.

Перед нами вже сьогодні постає проблема ресурсних обмежень і, з огляду на це, звичайних пошук альтернативних вичерпних джерел енергії – ідея, що не виправдовує надії. Тому дуже важливо збільшувати долю використання відомих поновлюваних джерел енергії у загальній структурі енергоресурсів та шукати нові можливості та пропозиції.

Одним з видів сучасного інженерного обладнання, який можна використовувати у якості генератора в системах тепло- та холодопостачання є тепловий насос. Цей пристрій використовує безкоштовну енергії навколишнього середовища (повітря, води або ґрунту) та технологічних стоків та перетворює її на енергії для систем опалення та охолодження. У світі спостерігається тенденція зростання продажів та застосування теплових насосів для потреб опалення та охолодження. Так у Швеції більше половини будинків опалюється саме за рахунок використання даного обладнання, а особливо популярним є їх поєднання з системами «тепла підлога» та «теплі стіни». При проектуванні та побудові нових багатоповерхових будинків встановлення теплових насосів для автономної системи опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання є обов'язковим. За рахунок застосування теплових насосів Швеція значно зменшила забруднення оточуючого середовища – щорічна кількість викидів продуктів згоряння в атмосферу зменшилася на 400 тис. тон [1].

У Німеччині дана технологія також набуває стрімкої популярності та готується законопроект про обов'язкове застосування теплових насосів при будівництві нових будівель. За оцінками експертів у найближчий час

зменшення кількості продажів газових котлів у Німеччині буде складати 27%, а, наприклад, у Франції – на 15%.

У Японії, після проведення програми по вивченню наслідків застосування теплових насосів, яка не виявила жодного негативного фактору впливу на безпеку людей та оточуючого середовища, уряд запровадив програму субсидування їх використання у системах опалення та ГВП.

В Україні наразі проекти по встановленню теплових насосів орієнтовані більше на індивідуальних споживачів з власними топковими, чим на масове використання у житловій забудові. Проте спостерігаються тенденції зросту продажів даного обладнання, що свідчить про бажання людей відчувати його переваги та економію з турботою про довкілля.

Метою даної дисертації є розрахунок річного енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та ГВП для оцінки загального енергоспоживання та визначення класу енергетичної ефективності будівлі з врахуванням значення сезонної ефективності виробництва тепла.

Задачею дослідження є розроблення шляхів альтернативного теплозабезпечення об'єкту, розрахунок та порівняння класів енергетичної ефективності будівлі, що у якості теплогенератора має звичайне обладнання та інноваційне.

## 1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Загальні відомості про об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є проєктована офісна будівля, що буде знаходитися у м. Києві. План будівлі наведемо на рис. 1.1. Передбачається побудова одноповерхової офісної будівлі, в якій будуть знаходитися 30 співробітників. Графік роботи будівлі передбачається 6 днів на тиждень з 8:00 до 20:00 для офісного персоналу. В будівлі передбачається 10 зон: зона очікування, зона охорони, кабінет керівника, транзитна зона, два санвузли, робочий простір, кухня, переговорна та топкова.

Загальна площа будівлі складає 254,5 м<sup>2</sup>, загальна опалювальна площа – 202,4 м<sup>2</sup>.

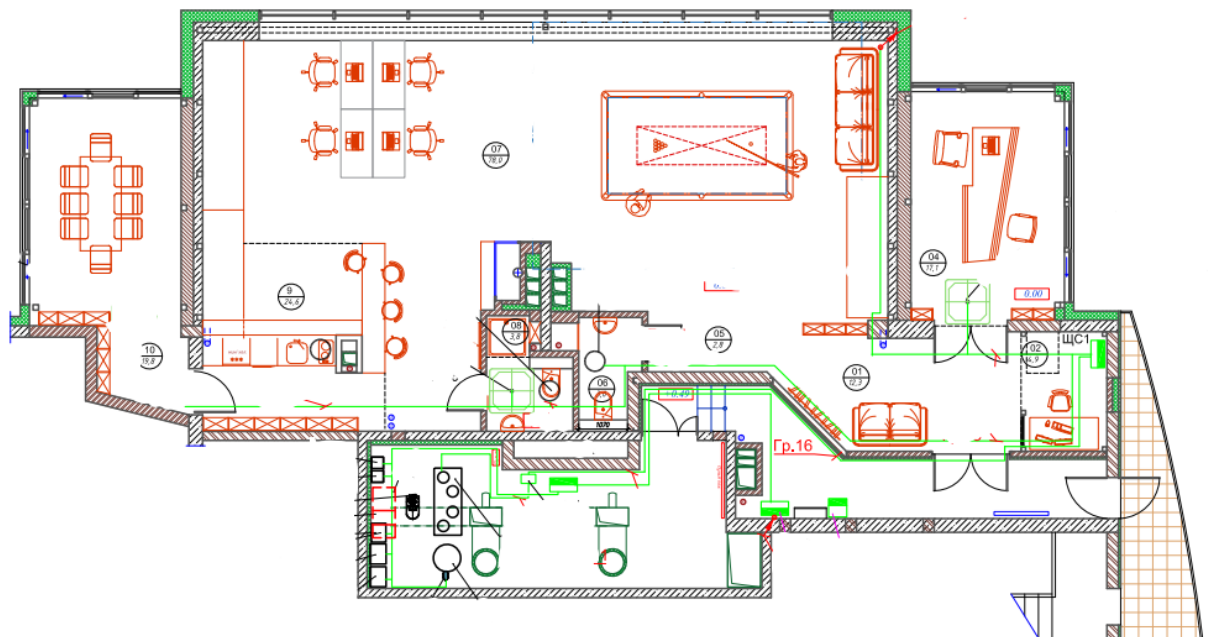


Рисунок 1.1 – План офісної будівлі

### 1.2 Кліматичні дані та параметри мікроклімату будівлі

Будівля буде знаходитися в першій кліматичній зоні. За [2] температура найхолоднішої п'ятиденки становить -22°C, на цю температуру і розрахована

система опалення. Середня температура повітря за опалювальний сезон становить  $-0,1^{\circ}\text{C}$ . Тривалість опалювального періоду складає 176 доби.

Приміщення офісу має певні санітарні вимоги по параметрам мікроклімату в середині приміщення, а саме температура повинна становити  $20^{\circ}\text{C}$ , можливість зниження цього значення у неробочі години та вихідні, святкові дні на  $3^{\circ}\text{C}$ , тобто до  $17^{\circ}\text{C}$ . Також необхідно підтримувати кратність повітрообміну на рівні  $1\text{ год}^{-1}$ . Відносна вологість повітря в приміщеннях повинна бути в межах 55%.

### **Висновки до розділу**

Так як будівля знаходиться ще на стадії проекту, розрахунок основних показників та аналіз можливостей підвищення енергоефективності є актуальним та доречним. Техніко-економічне обґрунтування на даній стадії дасть можливість вибору зі широкого спектру можливих запропонованих рішень, узгодити коригування до проекту, виключити зайві витрати на демонтаж чи перебудову, які бувають при модернізації існуючих систем, та відчутти економії з перших днів експлуатації будівлі.

## 2 ІНЖИНІРИНГ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Проведемо аналіз енергоефективності будівлі відповідно до вимог [3], основою якого є [4]. Під час енергетичної оцінки спочатку визначається базова енергопотреба на опалення, охолодження та ГВП, а потім розраховується величина втрат енергії при її розподілі по інженерним мережам. Комплексне визначення енергопотреби та енергоспоживання дозволяє розрахувати базовий рівень енергоспоживання будівлі. Додатково розраховуються енергоспоживання системами вентиляції та внутрішнього освітлення. В результаті розрахунків питомого споживання енергії визначається клас енергетичної ефективності будівлі.

### 2.1 Обстеження огорожувальних конструкцій

Розрахунок опору теплопередачі ОК проводиться відповідно до [4].

#### 2.1.1 Аналіз відповідності системи нормативним вимогам

##### Стіни

Розрахунок втрат теплоти через огорожуючі конструкції базується на врахуванні теплоізоляційних властивостей матеріалів, з яких виконана будівля.

За проектом зовнішні стіни будівлі заплановано виконати зі штукатурки, цегляної кладки на цементно-піщаному розчині, утеплювача з мінераловатних плит, вітро-гідроізоляції, вентиляованого прошарку та опоряджувального шару з облицювальної плитки. Загальна площа стін складає 194,34 м<sup>2</sup>. Площу стін за сторонами світу покажемо в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Площа стін, в залежності від орієнтації

Орієнтація	Пн	Пд	З	Сх
Площа стіни (м <sup>2</sup> )	34,57	37,17	42,1	80,5

Склад стін:

1 шар: внутрішня штукатурка – розчин складний (пісок, вапно, цемент)

$$\lambda=0,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}, \text{ товщина } \delta=0,02 \text{ м};$$

2 шар: повнотіла глиняна звичайна цегла на цементно-піщаному розчині

$$\lambda=0,81 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}, \text{ товщина } \delta=0,25 \text{ м};$$

3 шар: мінераловатні плити  $\lambda=0,049 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , товщина  $\delta=0,15 \text{ м};$

4 шар: вітро-гідрозахисна паропроникна мембрана, товщина  $\delta=0,0002 \text{ м};$

5 шар: вентиляований повітряний прошарок, товщина  $\delta=0,05 \text{ м};$

6 шар: розчин для облицювальної плитки:  $\lambda=1,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , товщина  $\delta=0,005 \text{ м};$

7 шар: облицювальна плитка  $\lambda=1,05 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , товщина  $\delta=0,012 \text{ м};$

$\alpha_1=8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої сторони будівлі;

$\alpha_2=12 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої сторони будівлі.

Оскільки у складі стіни є вентиляований повітряний прошарок, то опір теплопередачі розраховуються для шарів, розташованих від внутрішньої поверхні стіни до повітряного прошарку [5]. Вітро-гідрозахисний шар при розрахунках не враховується адже має дуже малу товщину. Отже маємо:

$$R_{\text{Ст}} = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} + \frac{\delta_{\text{ц}}}{\lambda_{\text{ц}}} + \frac{\delta_{\text{мп}}}{\lambda_{\text{мп}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}, \quad (2.1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;

$\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої поверхні будівлі,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;

$\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої поверхні будівлі,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

Підставимо значення у формулу (2.1):

$$R_{\text{ст}} = \frac{1}{12} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{0,15}{0,049} + \frac{1}{8,7} = 3,59 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі  $k \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ , визначаємо за формулою:

$$k = \frac{1}{R}, \quad (2.2)$$

де  $R$  – опір теплопередачі огорожувальної конструкції,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Підставляємо в (2.2), отримаємо:

$$k_{\text{ст}} = \frac{1}{3,59} = 0,28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі для зовнішніх стін для першої температурної зони складає  $R_{\text{q min}} = 3,3 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ . Порівнюючи зі значенням  $R_{\text{ст}}$ , можна зробити висновок, що реальне значення є більшим, за допустиме за [5].

## Вікна

В будинку запроектовані двокамерні пластикові вікна з високотехнологічного надміцного композиту фірми Rehau, без металевого армування, що виключає утворення містків холоду, через які зазвичай відбуваються втрати тепла [5]. Загальна площа вікон – 50,16  $\text{м}^2$ . Площі орієнтації за сторонами світу зведемо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Площа вікон, в залежності від орієнтації

Орієнтація	Загальна площа, $\text{м}^2$
Пн	5,88
Пд	5,88
Зх	38,4
Загальна	50,16



Термічний опір вікна визначаємо за технічними характеристиками системи REHAU GENEО [6]:

$$R_{\text{Вік}} = 1,16 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі вікон рахуємо за (2.4):

$$k_{\text{вік}} = \frac{1}{1,16} = 0,86 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Для першої температурної зони мінімально допустиме значення опору теплопередачі для вікон  $R_{q \min} = 0,75 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ . Отже, порівнюємо зі значенням  $R_{\text{ст}}$  і робимо висновок, що реальне значення є більшим за мінімально допустиме [5].

### Підлога

Пілога за проектом розташовується на ґрунті без заглиблень. Загальна площа становить 202,4 м<sup>2</sup>.

Конструктивно підлога запроектована з:

шар 1: залізобетонна плита перекриття  $\delta = 0,220$  м;  $\lambda = 1,69 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

шар 2: розчин цементно - піщаний  $\delta = 0,004$  м;  $\lambda = 0,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

шар 3: утеплювач – плити з мінеральної вати на синтетичному в'язучому

$\delta = 0,155$  мм;  $\lambda = 0,046 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

шар 4: стяжка цементно-піщана, армована скловолокном  $\delta = 0,02$  м;  
 $\lambda = 0,81 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

шар 5: паркетна дошка – дуб поперек волокон  $\delta = 0,02$  м;  $\lambda = 0,23 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

де  $\alpha = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої сторони будівлі;

$\alpha=6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої сторони будівлі.

Розрахуємо опір теплопередачі до ґрунту згідно [4]:

$$R_f = \frac{0,22}{1,69} + \frac{0,004}{0,7} + \frac{0,155}{0,046} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,02}{0,23} = 3,67 \cdot \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Отже відповідно до формули (2.4), маємо:

$$K_f = \frac{1}{3,69} = 0,27 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

### Дах

Загальна площа становить 202,4 м<sup>2</sup>. За проектом конструкція даху складається з:

шар 1: підшивка – листи гіпсокартону  $\delta=0,009$  м,  $\lambda=0,21 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

шар 2: щит накату - сосна поперек волокон  $\delta= 0,05$  м,  $\lambda=0,18 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

шар 3: дерев'яна балка - сосна поперек волокон  $\delta= 0,15$  м,  $\lambda=0,18 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

шар 4: засипка – гравій шлаковий  $\delta=0,2$  м,  $\lambda=0,13 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

шар 5: пароізоляція  $\delta = 0,00002$  м

шар 6: утеплювач – плити з мінеральної вати на синтетичному в'язучому

$\delta=0,1$  мм;  $\lambda=0,046 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

шар 7: гідрозахисна мембранна плівка  $\delta = 0,000022$  м

шар 8: стяжка цементно - піщана  $\delta= 0,02$  м;  $\lambda=0,81 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;

$\alpha_1=8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої сторони будівлі;

$\alpha_2=23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої сторони будівлі.

Тоді термічний опір даху рахуємо за (2.1):

$$R_{\text{дах}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,009}{0,21} + \frac{0,05}{0,18} + \frac{0,15}{0,18} + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,1}{0,046} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23} = 5,05 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі визначимо за (2.4):

$$K_{\partial} = \frac{1}{5,05} = 0,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Для першої температурної зони мінімально допустиме значення опору теплопередачі для даху  $R_{q \min} = 4,95 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ . Порівнюючи зі значенням  $R_{\text{дах}}$ , можна зробити висновок, що реальне значення є більшим за допустиме [5].

### Двері

За проектом планується встановлення алюмінієвих дверей ThermoSafe із заповненням зі спіненого поліуретану і розташованим всередині профілем стулки. Площа дверей складає  $2,25 \text{ м}^2$ .

За технічними характеристиками [7] термічний опір дверей:

$$R_{\partial \partial} = 1,23 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Для першої температурної зони за [5] мінімально допустиме значення опору теплопередачі для зовнішніх дверей  $R_{q \min} = 0,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ .

### 2.1.2 Розрахунок тепловтрат трансмісією та вентиляцією

Значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією  $H_{tr,adj}$ , Вт/К, розраховується за формулою:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A, \quad (2.3)$$

де  $H_D$  – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

$H_g$  – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К;

$H_u$  – некондиціонований об'єм, Вт/К (неопалювальний підвал або неопалювальне горище, в нашому випадку  $H_u = 0$ );

$H_A$  – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К (в нашому випадку  $H_A = 0$ ).

У загальному випадку  $H_x$ , яке відображає  $H_D$ ,  $H_g$ ,  $H_U$  або  $H_A$ , складається з трьох доданків та розраховується за формулою:

$$H_x = b_{tr,x} \sum_i A_i \cdot U_i, \quad (2.4)$$

де  $A_i$  – площа  $i$ -го елемента оболонки будівлі,  $m^2$ ;

$U_i$  – коефіцієнт теплопередачі  $i$ -го елемента оболонки будівлі, Вт/( $m^2 \cdot K$ ), що становить  $U_i = 1/R_{\Sigma i}$ ;

$R_{\Sigma i}$  – опір теплопередачі  $i$ -го елемента оболонки будівлі,  $m^2 \cdot K/Вт$ ;

$b_{tr,x}$  – поправочний коефіцієнт (0,3 для неопалювального підвалу).

Розрахунок значення коефіцієнта теплопередачі підлоги по ґрунту відрізняється в залежності від конфігурації підлоги (безпосередньо на ґрунті, опалювальний підвал).

Стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту розраховують за формулою:

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi_g, \quad (2.5)$$

де  $A$  – площа підлоги,  $m^2$ ,  $A = 202,4 m^2$ ;

$U$  – коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту, Вт/( $m^2 \cdot K$ );

$P$  – зовнішній периметр підлоги, м,  $P = 71,8 m$ ;

$\Psi_g$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення вузла сполучення конструкції підлоги по ґрунту із зовнішньою стіною, Вт/( $m \cdot K$ ),  $\Psi_g = 0,976 Вт/(м \cdot К)$ .

Розрахунок проводиться згідно з методикою [4].

Розрахуємо характерний розмір підлоги згідно з формулою:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P}. \quad (2.6)$$

Проводимо розрахунок за формулою (2.6):

$$B' = \frac{202,4}{0,5 \cdot 71,8} = 5,64.$$

Визначаємо еквівалентну товщина підлоги згідно з формулою:

$$d_g = w + \lambda(R_{si} + R_{se} + R_f), \quad (2.7)$$

де  $w$  – загальна товщина зовнішніх стін,  $w = 0,487$  м;

$\lambda$  – теплопровідність ґрунту, приймається  $2,0$  Вт/(м·К);

$R_{si}$  – внутрішній та зовнішній поверхневий опір,  $R_{si} = 0,17$  м<sup>2</sup>·К/Вт,

$R_{se}$  – тепловий зовнішній поверхневий опір,  $R_{se} = 0,043$  м<sup>2</sup>·К/Вт,

$R_f$  – термічний опір підлоги включаючи всі шари,

підставляємо значення до виразу (2.7), звідки маємо:

$$d_g = 0,487 + 2 \cdot (0,17 + 0,043 + 3,67) = 8,81 \text{ м.}$$

Так як  $d_g > B'$ , то коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту  $U$  визначаємо за формулою:

$$U = \frac{\lambda}{0,457B' + d_g}.$$

Отже, маємо:

$$U = \frac{2}{0,457 \cdot 5,64 + 8,81} = 0,176 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Отже, стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту дорівнює:

$$H_g = 202,4 \cdot 0,176 + 71,8 \cdot 0,976 = 105,62 \text{ Вт/К}.$$

В таблиці 2.3 зведемо дані, щодо опору теплопередачі огорожуючих поверхонь та значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією.

Таблиця 2.3 – Теплофізична характеристика огорожуючих конструкцій

ОК	R, м <sup>2</sup> ·К/Вт	U-фактор, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Коефіцієнти b <sub>tr,x</sub>	H <sub>x</sub> , Вт/К
Зовнішня стіна	3,59	0,28	1	54,72
Вікна	1,16	0,86	1	43,13
Дах	5,05	0,19	1	40,08
Підлога	3,66	0,27	1	105,62
Двері	1,23	0,81	1	1,83
H <sub>tr,adj</sub> , Вт/К				245,39

Сумарну теплопередачу трансмісією  $Q_{tr}$  визначають за формулою:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H,C} - \theta_e) \cdot t, \quad (2.8)$$

де  $\theta_{int,set,H}$  – задана температура зони будівлі для опалення;

$\theta_{int,set,C}$  – задана температура зони будівлі для охолодження;

$\theta_e$  – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °C;

$t$  – тривалість місяцю для якого проводяться розрахунки, год.

Розрахунки проводяться для всіх місяців опалювального або охолоджувального періоду. На прикладі представимо розрахунки відповідно до (2.8) для січня. Розрахунок для інших місяців виконується аналогічно. Результати зведено до табл. 2.4 та 2.5.

$$Q_{tr} = 245,39 \cdot (20 - (-4,7)) \cdot 744 = 4509,52 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таблиця 2.4 – Розрахунок трансмісійних тепловтрат на опалення

Місяць	$t$ , год	$\theta_e$ , °C	$H_{tr,adj}$ , Вт/К	$Q_{tr}$ , кВт·год
1	2	3	4	5
Січень	744	-4,7	245,39	4509,52
Лютий	672	-3,6		3891,712
Березень	720	1		3356,956
Квітень	240	9		647,83
Жовтень	384	8,1		1121,34
Листопад	720	1,9		3197,95
Грудень	744	-2,5		4107,86
$\Sigma$	4224			20838,17

Таблиця 2.5 – Розрахунок трансмісійних тепловтрат на охолодження

Місяць	$t$ , год	$\theta_e$ , °C	$H_{tr,adj}$ , Вт/К	$Q_{tr}$ , кВт·год
1	2	3	4	5
Квітень	0	7,9	245,39	0
Травень	0	13,4		0
Червень	720	18,3		1007,09
Липень	744	19,8		766,80
Серпень	744	19		912,86
Вересень	0	13		0
Жовтень	0	8		0
$\Sigma$	2210			2691,75

Розрахуємо теплопередачу вентиляцією. Сумарна теплопередача вентиляцією  $Q_{ve}$ , Вт·год, розраховується для кожного місяця та для кожної  $z$ -ої зони за формулою:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H,z} - \theta_e) \cdot t, \quad (2.9)$$

де  $H_{ve,adj}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією Вт/К;

$\theta_{int,set,H}$  – задана температура зони будівлі для опалення, °С;

$\theta_e$  – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

$t$  – тривалість місяця для якого проводиться розрахунок, год.

Значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією  $H_{ve,adj}$ , Вт/К, розраховується за формулою:

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left( \sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn} \right), \quad (2.10)$$

де  $(\rho_a \cdot c_a)$  – теплоємність повітря одиниці об'єму, (0,33 Вт·год/(м<sup>3</sup>·К));

$q_{ve,k,mn}$  – усереднена за часом витрата повітря від  $k$ -го елемента, м<sup>3</sup>/год;

$b_{ve,k}$  – температурний поправочний коефіцієнт для  $k$ -го елемента повітряного потоку, зі значенням  $b_{ve,k} \neq 1$ , якщо температура припливного повітря  $\theta_{sup,k}$  не дорівнює температурі зовнішнього середовища;

$k$  – представляє кожен із відповідних елементів повітряного потоку, таких як інфільтрація, природна вентиляція, механічна вентиляція тощо.

Усереднену за часом витрату повітря  $k$ -го елемента повітряного потоку  $q_{ve,k,mn}$ , м<sup>3</sup>/год, розраховують за формулою:

$$q_{ve,k,mn} = n_{inf,mn} V_{vent}, \quad (2.11)$$

де  $n_{inf,mn}$  – кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації, враховуючи вплив механічної вентиляції, год<sup>-1</sup>;

$V$  – кондиціонований об'єм зони/будівлі, м<sup>3</sup>.

На прикладі представимо розрахунки для січня. Розрахунок для інших місяців виконується аналогічно. Результати розрахунку зведено до табл. 2.6 та 2.7.

$$H_{ve,adj} = 0,33 \cdot 586,96 \cdot 1 \cdot 1 = 193,70 \text{ Вт/К.}$$

$$Q_{ve} = 193,70 \cdot (20 - (-4,7)) \cdot 672 \cdot 10^{-3} = 3215,06 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таблиця 2.6 – Теплопередача природною вентиляцією на опалення

Місяць	$t$ , год	$\theta_e$ , °C	$H_{ve,adj}$ , Вт/К	$Q_{ve}$ , кВт·год
1	2	3	4	5
Січень	672	-4,7	193,70	3215,06
Лютий	672	-3,6		3071,88
Березень	720	1		2649,77
Квітень	240	9		511,36
Жовтень	384	8,1		885,12
Листопад	720	1,9		2524,26
Грудень	744	-2,5		3242,48
$\Sigma$	4224			16104,9231

Таблиця 2.7 – Теплопередача природною вентиляцією на охолодження

Місяць	$t$ , год	$\theta_e$ , °C	$H_{ve,adj}$ , Вт/К	$Q_{ve}$ , кВт·год
1	2	3	4	5
Квітень	0	7,9	193,70	0
Травень	0	13,4		0
Червень	720	18,3		794,94
Липень	744	19,8		605,27
Серпень	744	19		720,56
Вересень	0	13		0
Жовтень	0	8		0
$\Sigma$	2210			2125,78

Обчислимо величину загальних тепловтрат. Загальні тепловтрати є сумарним значенням трансмісійних на вентиляційних витрат, обраховуються згідно формули:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}. \quad (2.12)$$

На прикладі представимо розрахунки відповідно до (2.12) для січня. Розрахунок для інших місяців виконується аналогічно. Результати зведено до табл. 2.8 та 2.9.

$$Q_{ht} = 4509,52 + 3215,06 = 7724,57 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$



Таблиця 2.8 – Загальні тепловтрати при опаленні

Місяць	$Q_{tr}$ , кВт·год	$Q_{ve}$ , кВт·год	$Q_{ht}$ , кВт·год
1	2	3	4
Січень	4509,515591	3215,06	7724,57
Лютий	3891,717256	3071,88	6963,59
Березень	3356,959497	2649,77	6006,73
Квітень	647,8342889	511,36	1159,19
Жовтень	1121,34226	885,12	2006,46
Листопад	3197,945626	2524,26	5722,20
Грудень	4107,858332	3242,48	7350,34
$\Sigma$	20838,17285	16104,9231	36933,10

Таблиця 2.9 – Загальні тепловтрати при охолодженні

Місяць	$Q_{tr}$ , кВт·год	$Q_{ve}$ , кВт·год	$Q_{ht}$ , кВт·год
1	2	3	4
Квітень	0	0	0,00
Травень	0	0	0,00
Червень	1007,09	794,94	1802,03
Липень	766,80	605,27	1372,07
Серпень	912,86	720,56	1633,42
Вересень	0	0	0,00
Жовтень	0	0	0,00
$\Sigma$	2691,75	2125,78	4807,53

### 2.1.3 Внутрішні теплонадходження

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі, що розглядається,  $Q_{int}$  Вт·год, для визначеного місяця розраховують за формулою відповідно до [4]:

$$Q_{int} = \left( \sum_k \Phi_{int,mn,k} A_f \right) t, \quad (2.13)$$

де  $\Phi_{int,mn,k}$  – усереднений за часом тепловий потік від k-го внутрішнього джерела, Вт/м<sup>2</sup>;

$A_f$  – кондиціонована площа зони будівлі, м<sup>2</sup>;

$t$  – тривалість періоду використання, виражена у годинах на місяць.

Підставляємо значення у формулу (2.13):

$$\Phi_{int,mn,k} = 4 + 7 + 6 = 17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

$$Q_{int} = (17 \cdot 202,4) \cdot 744 = 2312,22 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для інших місяців результати запишемо до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Внутрішні теплонадходження

Місяць	$t$ , год	$\theta_e$ , °C	$\Phi_{int,mn,k}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$Q_{int}$ , кВт·год
1	2	3	4	5
Січень	672	-4,7	17	2312,22
Лютий	672	-3,6		2312,22
Березень	720	1		2477,38
Квітень	240	9		825,79
Жовтень	384	8,1		1321,27
Листопад	720	1,9		2477,38
Грудень	744	-2,5		2559,96
$\Sigma$	4224			14291,20

Таблиця 2.11 – Внутрішні теплонадходження при охолодженні

Місяць	$t$ , год	$\theta_e$ , °C	$\Phi_{int,mn,k}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$Q_{int}$ , кВт·год
1	2	3	4	5
Квітень	0	7,9	17	0,00
Травень	0	13,4		0,00
Червень	720	18,3		2477,38
Липень	744	19,8		2559,96
Серпень	744	19		2559,96
Вересень	0	13		0,00
Жовтень	0	8		0,00
$\Sigma$	2210			7602,29

Обчислимо загальні сонячні теплонадходження. Теплонадходження від сонячної радіації до зони будівлі ( $Q_{sol}$ ), що розглядається, для кожного місяця, Вт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{sol} = \left( \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t, \quad (2.14)$$

де  $\Phi_{sol,mn,k}$  – усереднений за часом тепловий потік від  $k$ -го джерела сонячного випромінювання, Вт;

$t$  – тривалість місяця, що розглядається, виражена у годинах.

Сонячні теплонадходження через  $k$ -ий елемент будівлі  $\Phi_{sol,k}$ , Вт, визначають за формулою:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}, \quad (2.15)$$

де  $F_{sh,ob,k}$  – понижувальний коефіцієнт затінення перешкодами для еквівалентної площі інсоляції  $k$ -ої поверхні;

$A_{sol,k}$  – еквівалентна площа інсоляції  $k$ -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, м<sup>2</sup>;

$I_{sol,k}$  – сонячна радіація, значення енергетичної освітленості сприймаючої площі  $k$ -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м<sup>2</sup>;

$F_{r,k}$  – коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом, який приймають:  $F_r = 1$  – для незатіненого горизонтального даху,  $F_r = 0,5$  – для незатіненої вертикальної стіни;

$\Phi_{r,k}$  – додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від  $k$ -го елемента будівлі.

Еквівалентну площу інсоляції застекленого елемента оболонки (наприклад, вікна)  $A_{sol}$ , м<sup>2</sup>, розраховують за формулою:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}, \quad (2.16)$$

де  $F_{sh,gl}$  – понижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів, у нашому випадку відсутності засобів рухомого затінення  $F_{sh,gl} = 1$ ;

$g_{gl}$  – загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини елемента,  $g_{gl} = 0,68$ ;

$F_F$  – частка площі обрамлення, відношення площі проекції обрамлення до загальної площі проекції застекленого елемента,  $F_F = 0,3$ ;

$A_{w,p}$  – загальна площа проекції застекленого елемента, м<sup>2</sup>.

Обчислюємо параметр  $g_n$  за наступною формулою:

$$g_{gl} = F_w \cdot g_n, \quad (2.17)$$

де  $F_w$  – поправочний коефіцієнт для нерозсіюючого скління, приймають 0,9;

$g_n = 0,75$  для подвійного склопакету.

Зведемо до таблиці 2.12 еквівалентні площі інсоляції огорожувальних конструкцій.

Розрахуємо для північної орієнтації за виразом зазначеному у (2.17):

$$A_{sol} = 1 \cdot 0,675 \cdot (1 - 0,3) \cdot 5,88 = 2,78.$$

Таблиця 2.12 – Еквівалентні площі інсоляції прозорих елементів (вікон)

Вікна	Пн	Пд	З
$A_{sol}, m^2$	2,78	2,78	18,14

Еквівалентну площу інсоляції непрозорої частини оболонки будівлі  $A_{sol}, m^2$ , розраховують за формулою з [3]:

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c, \quad (2.18)$$

де  $\alpha_{s,c}$  – безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною,  $\alpha_{s,c} = 0,8$ ;

$R_{se}$  – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини,  $m^2 \cdot K / Wt$ , приймають  $0,043 m^2 \cdot K / Wt$ ;

$U_c$  – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини,  $Wt / (m^2 \cdot K)$ ;

$A_c$  – площа проекції непрозорої частини,  $m^2$ .

Результати розрахунку для кожної поверхні заносимо до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Еквівалентні площі інсоляції непрозорих елементів

Північ	Схід	Південь	Захід
Стіни			
0,335	0,780	0,360	0,408
Двері			
0,008			
Дах			
1,034			

### 2.1.4 Теплове випромінювання в атмосферу

Додатковий тепловий потік за рахунок теплового випромінювання в атмосферу для відповідного елемента оболонки будівлі  $\Phi_r$ , Вт, визначають за формулою [4]:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}, \quad (2.19)$$

де  $R_{se}$  – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ , приймають  $0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ;

$U_c$  – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$A_c$  – площа проекції елемента,  $\text{м}^2$ ;

$h_r$  – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$\theta_{er}$  – середня різниця між температурою зовнішнього повітря та уявною температурою атмосфери,  $^{\circ}\text{C}$ , для помірних широт приймається  $11 \text{ К}$ .

Коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні  $h_r$ ,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , може бути наближено розрахований за формулою:

$$h_r = 4\varepsilon\sigma(\theta_{ss} + 273)^3, \quad (2.20)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт поглинання теплового випромінювання зовнішньою поверхнею огороження, приймають за довідковими даними залежно від її типу;

$\sigma$  – стала Стефана-Больцмана:  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;

$\theta_{ss}$  – середньоарифметичне значення поверхневої температури та температури атмосфери,  $^{\circ}\text{C}$ .

При першому наближенні,  $h_r$  приймають рівним  $5\varepsilon \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , що відповідає середній температурі  $10^{\circ}\text{C}$ . Підставляємо значення до (2.19):

$$\Phi_{\text{гст}} = 0,043 \cdot 0,28 \cdot 194,34 \cdot 5 \cdot 0,93 \cdot 11 = 120,36 \text{ Вт};$$

$$\Phi_{\text{гдв}} = 0,043 \cdot 0,81 \cdot 2,25 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 11 = 3,46 \text{ Вт};$$

$$\Phi_{\text{гпокр}} = 0,043 \cdot 0,176 \cdot 202,4 \cdot 5 \cdot 0,91 \cdot 11 = 76,78 \text{ Вт}.$$

Розрахуємо сонячні теплонадходження на елементи будівлі. Результати зведемо до табл. 2.14 та 2.15.

Таблиця 2.14 – Сонячна інсоляція для Київської області

місяць	$I_{sol}$ , Вт/м <sup>2</sup>				
	Пн	Сх	Пд	Зх	горизонт.
1	13	21	50	22	32
2	24	36	70	38	59
3	35	58	90	61	101
4	39	77	92	73	146
5	56	104	101	99	211
6	67	111	96	105	228
7	61	108	98	104	220
8	40	93	106	89	185
9	29	70	102	66	130
10	19	38	75	37	71
11	11	17	39	17	31
12	9	14	35	15	22

Таблиця 2.15 – Сонячні теплонадходження на стіни та вікна

	$\Phi_{sol,k}$ Вт								
	стіни				вікна			дах	двері
місяць	Пн	Сх	Пд	Зх	Пн	Пд	Зх		Пн
січень	-55,83	-43,81	-42,18	-51,21	36,12	907,20	61,12	-43,69	-1,63
лютий	-52,14	-32,11	-34,98	-44,68	66,68	194,48	105,58	-15,77	-1,54
березень	-48,46	-14,95	-27,78	-35,31	97,24	250,05	169,48	27,66	-1,46
квітень	-47,12	-0,14	-27,06	-30,41	108,35	255,60	202,82	74,20	-1,42
травень	-41,43	20,92	-23,82	-19,81	155,58	280,61	275,05	141,42	-1,29
червень	-37,75	26,37	-25,62	-17,36	186,15	266,72	291,72	159,00	-1,20
липень	-39,75	24,03	-24,90	-17,77	169,48	272,27	288,94	150,73	-1,25
серпень	-46,79	12,34	-22,02	-23,89	111,13	294,50	247,27	114,53	-1,42
вересень	-50,47	-5,60	-23,46	-33,27	80,57	283,39	183,37	57,65	-1,50
жовтень	-53,82	-30,55	-33,18	-45,09	52,79	208,37	102,80	-3,36	-1,58
листопад	-56,50	-46,93	-46,14	-53,25	30,56	108,35	47,23	-44,73	-1,64
грудень	-57,17	-49,26	-47,58	-54,06	25,00	97,24	41,67	-54,03	-1,66

Обчислимо загальні сонячні теплонадходження. Результати розрахунків занесемо до таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Загальні сонячні теплонадходження у період опалення

Місяць	$\Phi_{sol,вік}$ , Вт	$\Phi_{sol,стін}$ , Вт	$\Phi_{sol,дах}$ , Вт	$\Phi_{sol,дв}$ , Вт	$Q_{sol}$ , кВт·год
1	2	3	4	5	5
Січень	1004,44	-193,02	-43,69	-1,63	514,82
Лютий	366,74	-163,92	-15,77	-1,54	124,66
Березень	516,76	-126,50	27,66	-1,46	299,86
Квітень	363,96	-104,73	74,20	-1,42	79,68
Жовтень	711,24	-64,14	-3,36	-1,58	246,59
Листопад	163,92	-54,35	-44,73	-1,64	45,50
Грудень	730,69	-58,39	-54,03	-1,66	458,76
$\Sigma$					1769,88

Таблиця 2.17 – Загальні сонячні теплонадходження у період охолодження

Місяць	$\Phi_{sol,вік}$ , Вт	$\Phi_{sol,стін}$ , Вт	$\Phi_{sol,дах}$ , Вт	$\Phi_{sol,дв}$ , Вт	$Q_{sol}$ , кВт·год
1	2	3	4	5	5
Квітень	566,77	-104,73	74,20	-1,42	0,00
Травень	711,24	-64,14	141,42	-1,29	0,00
Червень	744,58	-54,35	159,00	-1,20	610,58
Липень	730,69	-58,39	150,73	-1,25	611,41
Серпень	652,90	-80,35	114,53	-1,42	510,14
Вересень	547,33	-112,79	57,65	-1,50	0,00
Жовтень	363,96	-162,64	-3,36	-1,58	0,00
$\Sigma$					1737,13

Загальні внутрішні теплонадходження складаються з суми додаткових та сонячних, обчислюються за формулою:

$$Q_{\Sigma} = Q_{int} + Q_{sol}. \quad (2.21)$$

На прикладі наведемо розрахунки відповідно до (2.21) для січня. Розрахунок для інших місяців виконується аналогічно. Результати розрахунків зведено до табл. 3.14 та 3.15.

$$Q_{\Sigma} = 2312,22 + 514,82 = 2827,03 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таблиця 2.18 – Сумарні теплонадходження у період опалення

Місяць	$Q_{int}$ , кВт·год	$Q_{sol}$ , кВт·год	$Q_{gn}$ , кВт·год
1	2	3	4
Січень	2312,22	514,82	2827,03
Лютий	2312,22	124,66	2436,88
Березень	2477,38	299,86	2777,24
Квітень	825,79	79,68	905,47
Жовтень	1321,27	246,59	1567,86
Листопад	2477,38	45,50	2522,88
Грудень	2559,96	458,76	3018,72
$\Sigma$			16056,08

Таблиця 2.19 – Сумарні теплонадходження у період охолодження

Місяць	$Q_{int}$ , кВт·год	$Q_{sol}$ , кВт·год	$Q_{gn}$ , кВт·год
1	2	3	4
Квітень	0	0,00	0,00
Травень	0	0,00	0,00
Червень	2477,38	610,58	3087,96
Липень	2559,96	611,41	3171,36
Серпень	2559,96	510,14	3070,09
Вересень	0	0,00	0,00
Жовтень	0	0,00	0,00
$\Sigma$			9329,41

### 2.1.5 Розрахунок динамічних властивостей будівлі

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення  $\eta_{n,gn}$  – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти,  $\gamma_n$ , та числового параметра  $a_n$ , який залежить від інерції будівлі, як наведено у формулах. Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення  $\eta_{c,ts}$  – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти,  $\gamma_c$ , та числового параметра  $a_c$ , який залежить від інерції будівлі, як наведено у формулах [3].

Для обчислення показника  $\alpha_n$  розрахуємо часову константу будівлі за формулою:

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve,extra,adj}}, \quad (2.22)$$



де  $C_m$  – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі, Вт·год /К;

$H_{tr,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К;

$H_{ve,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К;

$H_{ve,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції для нічного або природного охолодження додаткової вентиляції від нічного та/або природного охолодження, Вт/К, ( $H_{ve,adj} = 0$  у нашому випадку).

В свою чергу, внутрішню теплоємність будівлі або її зони,  $C_m$ , Вт·год/К, обчислюють за формулою:

$$C_m = C \cdot A_f, \quad (2.23)$$

де  $C$  – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі на одиницю площі, Вт·год/(м²·К);

$A_f$  – кондиціонована площа будівлі або зони будівлі, м².

Отже, відповідно до (3.17) маємо:

$$C_m = 80 \cdot 202,4 = 16192 \text{ Вт·год/К.}$$

Отримавши значення  $C_m$  визначимо часову константу відповідно (2.22):

$$\tau = \frac{16192}{245,39 + 193,70} = 36,88.$$

Розрахуємо значення безрозмірного коефіцієнта  $\alpha_H$  за формулою:

$$\alpha_H = \alpha_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}. \quad (2.24)$$

Отже, відповідно до (2.24) отримаємо:

$$\alpha_H = 1 + \frac{36,88}{15} = 3,46.$$

Розраховуємо співвідношення сумарних теплонадходжень та витрат.

Оскільки для кожного місяця, це співвідношення є більшим за 0, для розрахунку безрозмірного коефіцієнту використання надходжень для опалення, використаємо наступну формулу:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}. \quad (2.25)$$

Оскільки, співвідношення щомісяця становлять більше ніж 0, для розрахунку безрозмірного коефіцієнту використання втрат для охолодження використаємо формулу відповідно до [3]:

$$\eta_{c,ls} = \frac{1 - \gamma_c^{-a_c}}{1 - \gamma_c^{-(a_c+1)}}. \quad (2.26)$$

Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.16.

Таблиця 2.20 – Коефіцієнти використання надходжень протягом року

Період опалення			Період охолодження		
Місяць	$\gamma_H$	$\eta_{H,gn}$	Місяць	$\gamma_c$	$\eta_{c,gn}$
1	2	3	4	5	6
Січень	0,366	0,969	Квітень	-	-
Лютий	0,350	0,973	Травень	-	-
Березень	0,462	0,928	Червень	1,714	0,829
Квітень	0,781	0,362	Липень	2,311	0,943
Жовтень	0,781	0,361	Серпень	1,880	0,880
Листопад	0,441	0,940	Вересень	-	-
Грудень	0,411	0,953	Жовтень	-	-

### 2.1.6 Розрахунок енергопотреби на опалення та охолодження

Розрахунок енергопотреби для опалення та охолодження з урахування усіх особливостей режиму опалення будівлі, кВт·год, проводиться за формулами:

$$Q_{H,nd} = \alpha_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}), \quad (2.27)$$

$$Q_{C,nd} = \alpha_{C,red} \cdot (Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht}). \quad (2.28)$$

На прикладі наведемо розрахунки відповідно до (2.28) та (2.27) для січня. Розрахунок для інших місяців виконується аналогічно. Результати розрахунків зведено до табл. 2.21.

$$Q_{H,nd} = 0,741 \cdot (7724,57 - 0,969 \cdot 2827,03) = 3694,44 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таблиця 2.21 – Енергопотреба на опалення та охолодження будівлі

Період опалення			Період охолодження		
Місяць	$\alpha_{H,red}$	$Q_{H,nd}$ , кВт·год	Місяць	$\alpha_{C,red}$	$Q_{C,nd}$ , кВт·год
1	2	3	4	5	6
Січень	0,741	3694,44	Квітень	-	-
Лютий	0,752	3454,54	Травень	-	-
Березень	0,673	2306,63	Червень	0,394	627,20
Квітень	0,447	371,56	Липень	0,182	341,66
Жовтень	0,447	643,67	Серпень	0,335	546,70
Листопад	0,688	2305,88	Вересень	-	-
Грудень	0,709	3173,07	Жовтень	-	-
$\Sigma$ , кВт·год		15949,81	$\Sigma$ , кВт·год		1515,56
$\Sigma$ , кВт·год/м <sup>3</sup>		27,174	$\Sigma$ , кВт·год/м <sup>3</sup>		2,582
$\Sigma$ , Гкал		13,717	$\Sigma$ , Гкал		1,303

### 2.1.7 Розрахунок енергопотреби на ГВП

При сертифікації енергетичної ефективності будівлі відповідно до вимог [24 рівень енергетичної потреби на ГВП, кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{DHW,nd} = c_w \cdot V_w \cdot (\theta_{w,del} - \theta_{w,0}) \cdot a_x, \quad (2.29)$$

де  $c_w$  – питома теплоємність води, (кДж/кг·К);

$V_w$  – річний обсяг споживання води, кг;

$\theta_{w,del}$  – встановлена температура подачі гарячої води;

$\theta_{w,0}$  – середня річна температура холодної води, яку приймають рівною 10°C;

$a_x$  – коефіцієнт переведення, кДж в кВт·год,  $a_x = 0,278 \cdot 10^{-3}$  (кВт·год/кДж).

Річний обсяг споживання води, кг, в свою чергу, визначають по формулі:

$$V_w = q_w \cdot n_m \cdot n_d \cdot \rho_w \cdot 10^{-3}, \quad (2.30)$$

де  $q_w$  – середня за рік добова витрата води, л/добу, яка визначається з [8];

$n_m$  – кількість розрахункових одиниць споживання гарячої води, вид яких визначається згідно [8], а кількість – згідно фактичних значень;

$n_d$  – кількість діб роботи системи гарячого водопостачання;

$\rho_w$  – густина води за нормальних умов, кг/м<sup>3</sup>.

Таким чином, відповідно до (2.29) та (2.30) матимемо:

$$Q_{DHW,nd} = 4,187 \cdot (6 \cdot 30 \cdot 293 \cdot 0,997) \cdot (45 - 10) \cdot 0,278 \cdot 10^{-3} = 2142,16 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Значення питомого рівня енергопотребі на ГВП для будівлі становитиме:

$$q_{DHW,nd} = \frac{20191039}{21232,1} = 3,65 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3.$$

### 2.1.8 Визначення класу енергоефективності за енергопотребою

Клас енергетичної ефективності за енергопотребою для опалення, охолодження та ГВП визначається відповідно до [4]. Для визначення класу енергоефективності будівлі необхідно знайти різницю відхилення розрахункового значення питомої енергопотребі, від максимально допустимого значення. Так, максимальне значення питомої енергопотребі для начального закладу першої температурної зони становить  $EP_{max} = 53 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3$ .

Відтак, знайдемо розрахункове значення  $EP$  за формулою:

$$EP = Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd}. \quad (2.31)$$

Отже, відповідно до (2.31) матимемо:

$$EP = 27,17 + 2,58 + 3,65 = 33,41 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3.$$

Відхилення від максимального значення показника питомої енергопотребі будівлі визначатиметься за формулою:



### 2.3 Система опалення

За проектом теплопостачання заплановано від газового котла, теплоносії - гаряча вода з параметрами  $T_1-T_2 = 80^{\circ}\text{C}-60^{\circ}\text{C}$ . Системи опалення передбачена двотрубна з відкритою розводкою трубопроводів в теплоізоляції. В якості опалювальних приладів прийняті сталеві радіатори конвективного типу з нижнім підключенням 1/2". Випуск повітря здійснюється через повітровипускні крани, передбачені конструкцією нагрівального приладу. Для можливості відключення та налаштування системи кожен радіатор обладнаний термостатичним клапаном на підвідному трубопроводі та вентилем для відключення радіатора на зворотньому трубопроводі. Система опалення передбачена колекторна променева двотрубна (рис. 2.1).

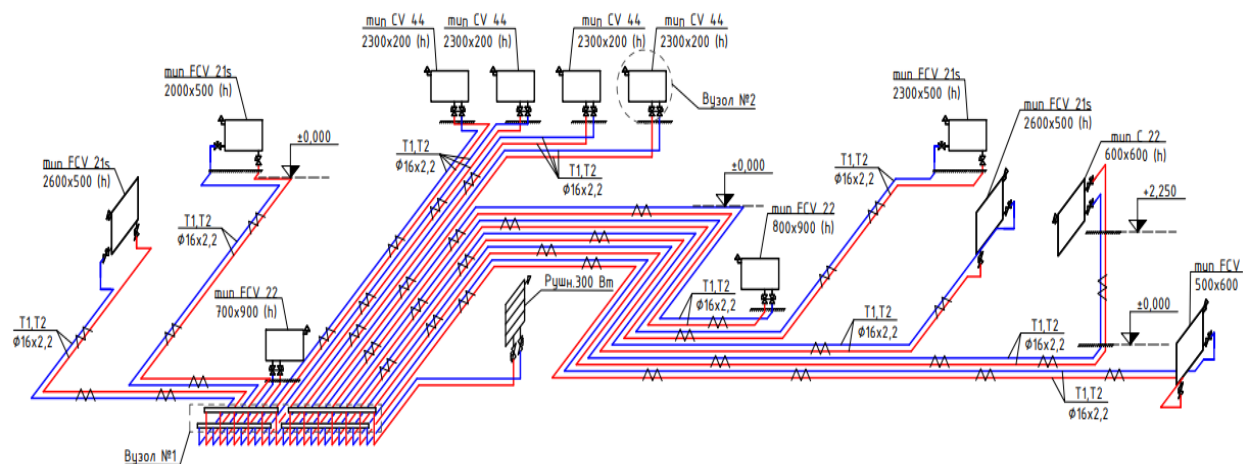


Рисунок 2.2 – Променева система опалення від колектора

#### Застосування сучасних приладів опалення

За проектом опалювальними приладами будуть сталеві панельні радіатори з нижнім підключенням та вбудованим термостатичним клапаном. Пропонується обрати радіатори Purmo, які виробляються зі сталевого холоднокатаного листа, відповідно до EN 10130 і EN 10131. Необроблені радіатори після проходження перших етапів технологічного процесу

піддаються наступним процесам: підготовка поверхні під час проходження через мийку зі встановленою душовою системою з використанням спеціальних хімічних засобів, ґрунтувальне забарвлення методом катафорезу другого покоління KTL II за допомогою занурення всього радіатора в ґрунтувальну фарбу, що забезпечує прекрасне запобігання корозії, просушка після ґрунтувальною забарвлення в камері каплевідділення і тунельній газовій сушарці, спікання нанесених захисних шарів в печі при температурі 190 °С.



Рисунок 2.3 – Сталевий панельний радіатор

Завдяки сучасній технології виробництва та якісним вбудованим термостатичним клапанам, радіатори мають велику тепловіддачу та малі втрати тиску на клапані, а також можливість переналадження підключення радіатору з нижнього на бокове при можливих змінах влаштування трубопроводів системи опалення.

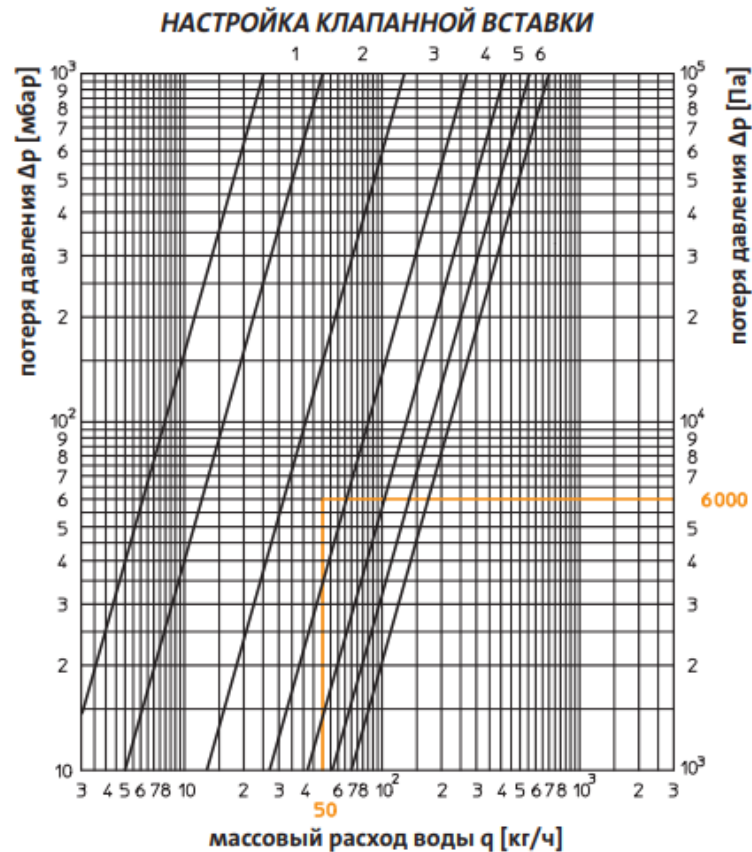


Рисунок 2.4 – Гідравлічна характеристика радіаторів

### 2.3.1 Розрахунок рівня енергоспоживання системи опалення, охолодження та ГВП

Визначимо показники загального та питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води.

#### Питоме енергоспоживання при опаленні

Напря́м розрахунку річного енергоспоживання визначається від енергопотреби до джерела, та є протилежним потоку енергії в системі теплозабезпечення. Розрахунок структурується відповідно до компонентів системи теплозабезпечення (тепловіддача, теплорозподілення, акумулювання теплоти, генерування теплоти) [3].

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі/виділення розрахуємо помісячно з використанням коефіцієнтів ефективності, у відповідності з [3], за формулою:



$$Q_{H,em,is} = \left( \frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{H,em,out} , \quad (2.33)$$

де  $Q_{H,em,is}$  – загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі/виділення впродовж  $i$ -го, Вт · год;

$Q_{H,em,out}$  – енергія виходу підсистеми тепловіддачі/виділення за  $i$ -й місяць, Вт · год ,  $Q_{H,em,out} = Q_{H,nd}$ ;

$f_{hydr}$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи, згідно з [3]  $f_{hydr} = 1,01$ ;

$f_{im}$  – коефіцієнт, що враховує застосування періодичного теплового режиму приміщення.  $f_{im} = 1$ ;

$f_{rad}$  – коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку (тільки для променевих систем опалення),  $f_{rad} = 1$ ;

$\eta_{em}$  – загальний рівень ефективності для тепловіддавальної складової системи у приміщенні, що визначають за формулою:

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})]} , \quad (2.34)$$

де  $\eta_{str}$  – складова загального рівня ефективності, яка враховує вертикальний профіль температури повітря приміщення;

$\eta_{ctr}$  – складова загального рівня ефективності, яка враховує регулювання температури приміщення,  $\eta_{ctr} = 0,93$ ;

$\eta_{emb}$  – складова загального рівня ефективності, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень (для вбудованих систем),  $\eta_{emb} = 1$ .

Складову загального рівня ефективності, яка враховує вертикальний профіль температури повітря приміщення розраховують за формулою:

$$\eta_{str} = (\eta_{str1} + \eta_{str2}) / 2 . \quad (2.35)$$

Згідно [3] маємо:

$$\eta_{str} = (0,88 + 0,83) / 2 = 0,86 .$$

Отже, маємо:

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (0,86 + 0,93 + 1)]} = 0,82.$$

Розрахунок загальних тепловтрат підсистем тепловіддачі/виділення покажемо для січня, для інших місяців розрахунки зведемо до табл.2.22.

$$Q_{H,em,Is,i} = \left( \frac{1,01 \cdot 1 \cdot 1}{0,79} - 1 \right) \cdot 3694,44 = 1025,76.$$

Розрахуємо енергію входу, необхідну для підсистеми тепловіддачі впродовж і-го місяця  $Q_{H,em,in,i}$  за формулою:

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out} + Q_{H,em,Is,i}$$

Розрахуємо енергію входу, яка необхідна для підсистеми розподілення, за формулою:

$$Q_{H,dis,in} = Q_{H,dis,out,i} + Q_{H,dis,Is,nrvd,i} \quad (2.36)$$

де  $Q_{H,dis,Is,nrvd,i}$  – неутилізовані тепловтрати підсистеми розподілення за і-й місяць;

$Q_{H,dis,out,i}$  – енергія виходу з підсистеми розподілення,  $Q_{H,dis,out,i} = Q_{H,em,in,i}$

Неутилізовані тепловтрати підсистеми розподілення  $Q_{H,dis,Is,nrvd,i}$  розрахуємо помісячно за формулою:

$$Q_{H,dis,Is,nrvd,i} = Q_{H,dis,Is,nrbl,i} + (Q_{H,dis,Is,rbl,i} - Q_{H,dis,Is,rvd,i}), \quad (2.37)$$

де  $Q_{H,dis,Is,nrbl,i}$  – неутилізаційні тепловтрати, кВт·год, розраховується за формулою (2.38);

$Q_{H,dis,Is,rbl,i}$  – утилізаційні тепловтрати, кВт·год, розраховується за формулою (2.38);

$Q_{H,dis,Is,rvd,i}$  – утилізовані тепловтрати, кВт·год, розраховується за формулою (2.39).

Тепловтрати підсистем розподілення:

$$Q_{H,dis,Is,i} = \sum \psi_{L,j} \cdot (\theta_{m,i} - \theta_{i,j}) \cdot L_j \cdot t_{op,an,i}, \quad (2.38)$$

де  $\psi_{L,j}$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі j-го трубопроводу, Вт/(м·К);

$\theta_{m,i}$  – середня температура теплоносія в зоні упродовж і-го місяця, °С, визначена за температурним графіком регулювання теплоносія за погодними умовами при середньомісячній температурі зовнішнього середовища відповідного місяця;

$\theta_{i,j}$  – температура оточуючого середовища і-го місяця, °С;

$L_j$  – довжина j-го трубопроводу, м;

$t_{op,an,i}$  – кількість годин опалення і-го місяця, год.

Утилізовані тепловтрати:

$$Q_{H,dis,ls,rvd,i} = Q_{H,dis,ls,rbl,i} \cdot 0,9 \cdot \eta_{H,gn,i}.$$

Загальні тепловтрати підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти розрахуємо помісячно за формулою:

$$Q_{H,gen,ls,i} = Q_{H,gen,out,i} \cdot (1 - \eta_{H,gen}) / \eta_{H,gen}. \quad (2.39)$$

де  $Q_{H,gen,out,i}$  – енергія виходу з підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця,  $Q_{H,gen,out,i} = Q_{H,dis,In,i}$ ;

де  $\eta_{H,gen}$  – показники ефективності підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти, що приймають згідно з даними значень сезонної ефективності виробництва/генерування теплоти, для газового котла  $\eta_{H,gen} = 71\%$ .

Загальний рівень споживання теплової енергії при опаленні приміщень розраховують за формулою:

$$Q_{H,use,i} = Q_{H,gen,out,i} + Q_{H,gen,ls,i}. \quad (2.40)$$

Зведемо усі отримані розрахунки по втратах енергії у підсистемі розподілення в табл. 2.22. Загальний рівень енергоспоживання будівлею зазначений в табл. 2.23.

Таблиця 2.22 – Значення енергетичних потоків в підсистемі розподілення

Місяць	$Q_{H,dis,out}$ кВт·год	$Q_{H,em,is}$ кВт·год	$Q_{H,dis,Is,nrbl}$ кВт·год	$Q_{Hdis,Is,rbl}$ кВт·год	$Q_{H,em,is.rvd}$ кВт·год	$Q_{H,em,is.nrvd}$ кВт·год	$Q_{H,dis,in}$ кВт·год
1	2	3	4	5	6	7	9
Січень	4533,64	839,19	387,48	1383,84	1206,51	564,81	5098,45
Лютий	4239,24	784,70	172,17	1229,76	1077,20	324,73	4563,96
Березень	2830,58	523,95	157,25	1123,20	938,40	342,05	3172,63
Квітень	455,96	84,40	36,29	259,20	84,56	210,92	666,88
Жовтень	789,89	146,21	58,06	414,72	134,81	337,97	1127,85
Листопад	2829,67	523,78	151,20	1440,00	1217,66	373,54	3203,21
Грудень	3893,84	720,76	188,74	1348,13	1156,35	380,52	4274,36

Таблиця 2.23 – Розрахунок енергоспоживання при опаленні

Місяць	$Q_{H,em,is} = Q_{H,dis,out}$ кВт·год	$Q_{H,dis,in} = Q_{H,gen,out}$ кВт·год	$Q_{H,gen,is}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
1	2	3	4	5
Січень	4533,64	5098,45	2082,46	7180,91
Лютий	4239,24	4563,96	1864,15	6428,12
Березень	2830,58	3172,63	1295,86	4468,49
Квітень	455,96	666,88	272,39	939,27
Жовтень	789,89	1127,85	460,67	1588,53
Листопад	2829,67	3203,21	1308,35	4511,56
Грудень	3893,84	4274,36	1745,86	6020,22
$\Sigma$ , кВт·год				31137,10
$EP_{H,use}$ , кВт·год/м <sup>3</sup>				53,05

### Загальне енергоспоживання при охолодженні

Проектом передбачено, що в якості системи охолодження офісу використовуються індивідуальні настінні кондиціонери класу енергоефективності А.

Враховуючи відсутність підсистеми розподілення для системи охолодження, загальна енергія виходу з системи охолодження визначається згідно з формулою ( $Q_{C,dis,in} = Q_{C,nd}$ ):

$$Q_{C,gen,out} = Q_{C,dis,in} / \eta_{C,ac} \quad (2.41)$$

де  $\eta_{C,ac}$  – ефективність автоматичного управління/регулювання, приймають в залежності від класу ефективності системи управління/регулювання,  $\eta_{C,ac} = 0,99$

$$Q_{C,gen,out} = 1515,56 / 0,99 = 1530,87 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування розраховуються за формулою:

$$Q_{C,gen,ls} = Q_{C,gen,out} (1 - \eta_{C,gen}) / \eta_{C,gen} \quad (2.42)$$

де  $\eta_{C,gen}$  – ефективність підсистеми виробництва/генерування та акумулювання,  $\eta_{C,gen} = 2,25$

$$Q_{C,gen,ls} = 1530,87 \cdot (1 - 2,25) / 2,25 = -850,49 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Розрахуємо загальне енергоспоживання при охолодженні:

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,out} + Q_{C,gen,ls} = 1530,87 - 850,49 = 680,39 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Питоме енергоспоживання будівлі при охолодженні становить:

$$EP_{C,use} = Q_{C,uset} / V = 680,39 / 586,96 = 1,16 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

## Енергоспоживання системою ГВП

Тепловтрати підсистеми розподілення для системи ГВП складаються з:

- тепловтрат розподільними трубопроводами до водорозбору гарячої води;
- тепловтрат циркуляційним контуром;
- тепловтрат використаної води при водорозборі.

Річне енергоспоживання при постачанні гарячої води ( $Q_{DHW,use}$ ), кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{DHW,use} = (Q_{DHW,nd} + Q_{W,dis,ls} + Q_{W,dis,ls,col,m} + Q_{W,em,l}) / \eta_{gen}, \quad (2.42)$$

де  $Q_{DHW,nd}$  – енергопотребі гарячого водопостачання, кВт·год;

$Q_{W,dis,ls}$  – річні тепловтрати підсистеми розподілення постачання гарячої води, кВт·год;

$Q_{W,dis,ls,col,m}$  – річні тепловтрати циркуляційного контуру постачання гарячої води, кВт·год;

$Q_{W,em,Is}$  – тепловтрати використаної води при водорозборі, кВт·год;

$\eta_{gen}$  – ефективність підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти.

Тепловтрати розподільними трубопроводами від циркуляційного контуру до водорозбору гарячої води користувача розраховуються так:

$$Q_{W,dis,ls} = \sum \psi_{W,j} \cdot (\theta_{W,dis,avg,j} - \theta_{amb,j}) \cdot L_{W,j} \cdot t_w, \quad (2.43)$$

де  $\psi_{W,j}$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі трубопроводу, Вт/(м·К),  $\psi_W = 0,4$  Вт/(м·К);

$L_{W,j}$  – довжина секції трубопроводу, м,  $L_W = 42$  м;

$\theta_{W,dis,avg,j}$  – середня температура гарячої води у секції трубопроводу, °С,  $\theta_{W,dis,avg} = 45$  ;

$\theta_{amb,j}$  – середня температура середовища навколо секції трубопроводу або температура опалюваного чи неопалюваного приміщення, °С;  $\theta_{amb} = 20^\circ\text{C}$  – для опалювального періоду та  $\theta_{amb} = 22^\circ\text{C}$  – для періоду поза опаленням;

$t_w$  – період користування ГВП, год/рік.

Результати розрахунків зведемо до табл.2.24.

Річні тепловтрати циркуляційного контуру постачання гарячої води  $Q_{W,dis,ls,col,m}$  розраховують за формулою:

$$Q_{W,dis,ls,col,m} = Q_{W,dis,ls,col,on} + Q_{W,dis,ls,col,off}, \quad (2.44)$$

де  $Q_{W,dis,ls,col,on}$  – тепловтрати трубопроводів протягом періодів циркуляції, кВт·год,

$Q_{W,dis,ls,col,off}$  – тепловтрати трубопроводів протягом періодів відсутності циркуляції, кВт·год, визначають за формулою:

$$Q_{W,dis,ls,col,off} = \sum \rho_W c_W \cdot (\theta_{W,dis,avg,j} - \theta_{amb,j}) \cdot V_{W,dis,j} \cdot n_{norm}, \quad (2.45)$$

де  $n_{norm}$  – кількість робочих циклів циркуляційного насоса протягом року; за відсутності точних даних приймають  $n_{norm} = 1-2$  цикли в день;

$V_{W,dis,j}$  – об'єм води, що міститься в секції трубопроводу, м<sup>3</sup>

Результати розрахунків занесемо до табл.2.24.

Враховуючи, що проектом передбачена система ГВП з автоматично збалансованими за температурою води циркуляційними стояками, то додаткові втрати теплоти при зливанні непрогрітої води з системи ГВП становлять  $\eta_{eq} = 0 \%$ . Відповідно,  $Q_{W,em,Is} = 0$ .

Розрахуємо річний обсяг енергоспоживання на потреби ГВП, при цьому ефективність підсистеми виробництва/генерування теплоти для випадку звичайного газового котла  $\eta_{gen} = 71\%$ . Результати розрахунків занесемо до табл.2.24.

Таблиця 2.24 – Споживання теплової енергії на потреби ГВП

$Q_{W,dis,Is,Hp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,Cp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,on,Cp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,on,Hp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,on}$ кВт·год
429,96	395,58	825,55	358,31	329,65	687,96
$Q_{W,dis,Is,col,off,Hp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,off,Cp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,off}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,om}$ кВт·год	$Q_{DHW,use}$ кВт·год	$EP_{DHW,use}$ кВт·год/м <sup>3</sup>
46,83	43,80	90,64	778,59	5276,48	8,99

### Розрахунок енергоспоживання при освітленні

Розрахуємо річний обсяг енергоспоживання при освітленні ( $W_{use}$ ), кВт·год, відповідно до вимог [3]:

$$W_{use} = W_L + W_P, \quad (2.46)$$

де  $W_L$  – енергія, необхідна для виконання функції штучного освітлення в будівлі, кВт·год;

$W_P$  – енергія, необхідна для забезпечення заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення, та енергія для управління/регулювання освітленням в будівлі, кВт·год, ( $W_P=0$  у нашому випадку).

Обсяг енергії ( $W_L$ ), необхідної для виконання функції штучного освітлення в будівлі, кВт·год, розраховується за формулою:

$$W_L = (P_N \cdot F_C) \cdot [(t_D \cdot F_o \cdot F_D + t_N \cdot F_o)] \cdot A_f / 1000, \quad (2.47)$$

де  $P_N$  – питома потужність встановленого штучного освітлення в будівлі, Вт/м;

$F_C$  – постійний коефіцієнт яскравості, що відноситься до використання встановлення освітлення при функціонуючому контролі сталої освітленості зони;

$F_o$  – коефіцієнт використання освітлення, який є відношенням використання загальної встановленої потужності штучного освітлення до періоду використання зони;

$F_D$  – коефіцієнт природного освітлення, який є відношенням використання загальної встановленої потужності штучного освітлення до наявного природного освітлення зони;

$t_D$  – час використання природного освітлення протягом року, (години);

$t_N$  – час використання штучного освітлення протягом року, (години);

$A_f$  – кондиціонована (опалювана) площа будівлі, м<sup>2</sup>.

Отже, відповідно до (2.47) матимемо:

$$W_L = (6,2 \cdot 1) \cdot [(2250 \cdot 1 \cdot 1 + 250 \cdot 1)] \cdot 202,4 / 1000 = 3134,72 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

$$W_{use} = W_L = 3137,20 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

### 2.3.2 Визначення класу енергетичної ефективності будівлі

Клас енергетичної ефективності будівель визначається за показником загального питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води (EP):

$$EP = EP_{H,use} + EP_{C,use} + EP_{DHW}. \quad (2.48)$$

Отже, маємо:

$$EP = 56,03 + 1,16 + 8,99 = 63,20 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$



За класифікацією будівель за енергетичною ефективністю будівель згідно [3], клас енергоефективності даної офісної будівлі – “D”.

### **2.3.4 Пропозиції щодо енергозбереження**

Так як опір теплопередачі огорожуючих конструкцій відповідає вимогам, необхідності у прорахунку заходів з утеплення немає.

#### **Автоматизація опалення зі застосуванням термоелектричних приводів**

Для підвищення енергозбереження та спрощенню підтримки комфортних умов пропонується встановлення функціональної системи автоматизації опалення зі застосуванням термоелектричних приводів. Однією з таких популярних систем є система Icon 24 фірми Danfoss, яка включає в себе мастер-контролер, кімнатні термостати, термоелектроприводи та модулі розширення та для можливості віддаленого керування через додаток.



Рисунок 2.5 – Система Icon 24

Центральною частиною системи є контролер Master Controller 24В, який налаштовує систему й об'єднує її. Контролер Master Controller 24В відрізняється простотою монтажу і налаштування завдяки використанню програми з попередньо встановленими параметрами та інтуїтивно зрозумілому сенсорному інтерфейсу.

До функціональних особливостей системи можна віднести [9]:

- Автоматичне балансування, яке забезпечує виконання гідравлічного балансування системи контролером, виходячи з фактичної потреби в конкретному приміщенні.
- Значно спрощує гідравлічне балансування контурів.
- Вибір типу термоелектричного приводу (NO або NC).
- Перемикання в режим охолодження (потрібен модуль розширення).
- Підтримка 2-, 3- або 4-трубних систем у різних конфігураціях.
- Регулювання температури теплоносія, що подається в систему (потрібен модуль розширення), може бути налаштоване або на підтримку постійної температури, або на регулювання температури відповідно до споживання тепла в приміщеннях.
- Можливість віддаленого керування зі смартфона, за допомогою мобільного додатку для пристроїв під управлінням ОС iOS та Android (потрібен модуль додатка).
- Оновлення програмного забезпечення виконується через додаток, або модуль Zigbee.

Як відомо з практики, зменшення температури у приміщенні на 1°C дає можливість економії до 5% енергії. Застосування даної системи не лише допоможе економити, але і зробить підтримку комфортних умов у автоматичному режимі без потреби втручання та підтримки спеціального персоналу.

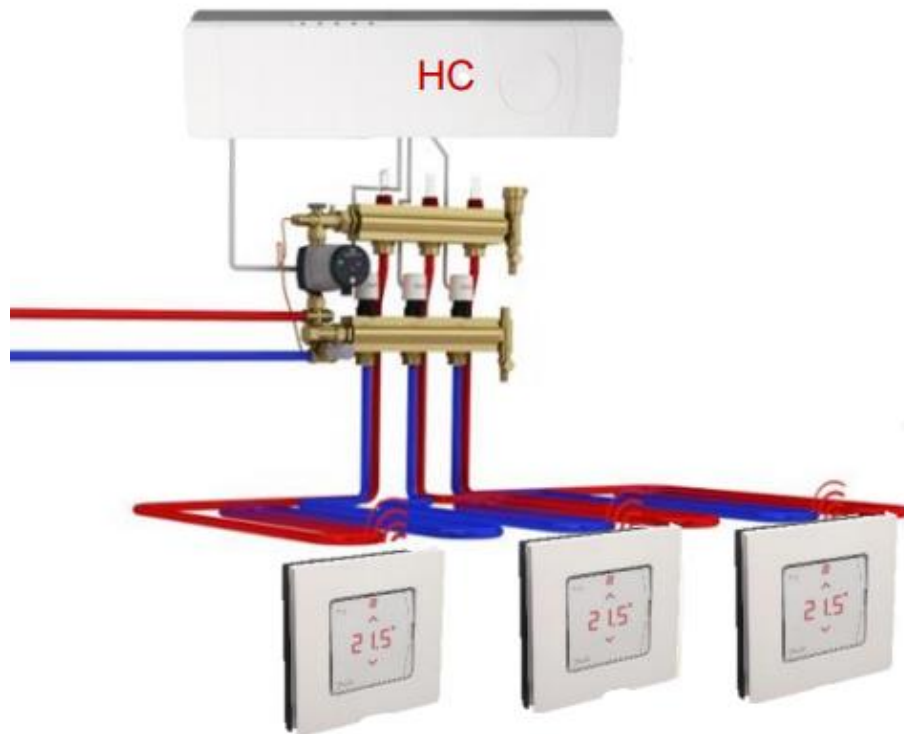


Рисунок 2.6 – Розподільча гребінка з термоелектроприводами  
таконтролером

Розрахуємо мінімально можливу річну економію (при зменшенні температури хоча би на  $1^{\circ}\text{C}$  для базового випадку:

$$E = Q_{H,use} \cdot 1,05 = 31137,1 \cdot 1,05 = 1556,86 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

В грошовому еквіваленті:

$$C = E \cdot C_p = 1556,86 \cdot 8,35 = 12999 \text{ грн}.$$

### **Впровадження системи локальної рекуперації**

Вентиляційні установки пропанується встановлювати в переговорній, кабінеті директора та зоні робочого простору.

Розрахунок проведемо для однієї кімнати.

Розрахунок повітрообміну по кратності:

$$L = n \cdot F \cdot H, \quad (2.49)$$

де  $L$  — необхідна продуктивність припливної вентиляції,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$n$  — нормована кратність повітрообміну: 1;

$F$  — площа приміщення,  $\text{м}^2$ ;

$H$  — висота приміщення,  $\text{м}$ .

Підставляємо до (2.49):

$$L = 1 \cdot 78 \cdot 2,9 = 226,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахунок повітрообміну по кількості людей:

$$L = N \cdot L_{\text{норм}}, \quad (2.50)$$

де  $N$  — кількість людей;

$L_{\text{норм}}$  — норма витрати повітря на одну людину: в стані спокою —  $25 \text{ м}^3/\text{год.}$

Порахуємо повітрообмін по кількості людей за (2.50):

$$L = 20 \cdot 30 = 600 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Визначимо витрати теплоти на вентиляцію до впровадження системи рекуперації:

$$Q_{\text{вент}} = L \cdot \rho \cdot c_p (t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.оп}}) \cdot n_0 \cdot \tau, \quad (2.51)$$

де  $\rho$  — густина повітря,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$c_p$  — теплоємність повітря,  $\text{ккал}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{вн}}$  — внутрішня температура в приміщенні,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{ср.оп}}$  — середня температура навколишнього повітря за опалювальний період  $^\circ\text{C}$ ;

$n_0$  — тривалість опалювального сезону;

$\tau$  — кількість працюючих годин в день, год.

Проведемо розрахунки за (2.51):

$$Q_{\text{вент}} = 600 \cdot 1,4 \cdot \frac{1,005}{4,19} \cdot (20 + 0,1) \cdot 176 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 7,13 \text{ Гкал.}$$

Розрахунок витрат теплоти на систему вентиляції після впровадження:

$$Q_{\text{вент}} = L \cdot \rho \cdot c_p (t_{\text{вн}} - t_{\text{пр}}) \cdot n_0 \cdot \tau, \quad (2.52)$$

де  $t_{\text{пр}}$  — температура припливного повітря,  $^\circ\text{C}$ , розраховується за формулою:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{ср.оп.}} + 0,78(t_{\text{вн}} - t_{\text{ср}}), \quad (2.53)$$

отже:

$$t_{\text{пр}} = -0,1 + 0,78(20 + 0,1) = 15,6^{\circ}\text{C}.$$

Проводимо розрахунок за (2.52):

$$Q_{\text{вент}} = 500 \cdot 1,4 \cdot \frac{1,005}{4,19} \cdot (20 - 15,6) \cdot 176 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 1,56 \text{ Гкал}.$$

Економія енергії за опалювальний сезон:

$$\Delta Q = 7,13 - 1,56 = 5,57 \text{ Гкал} = 6477,9 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 889,8 \text{ м}^3.$$

Економія грошових коштів за опалювальний сезон:

$$E = 889,8 \cdot 8,38 = 7430 \text{ грн}$$

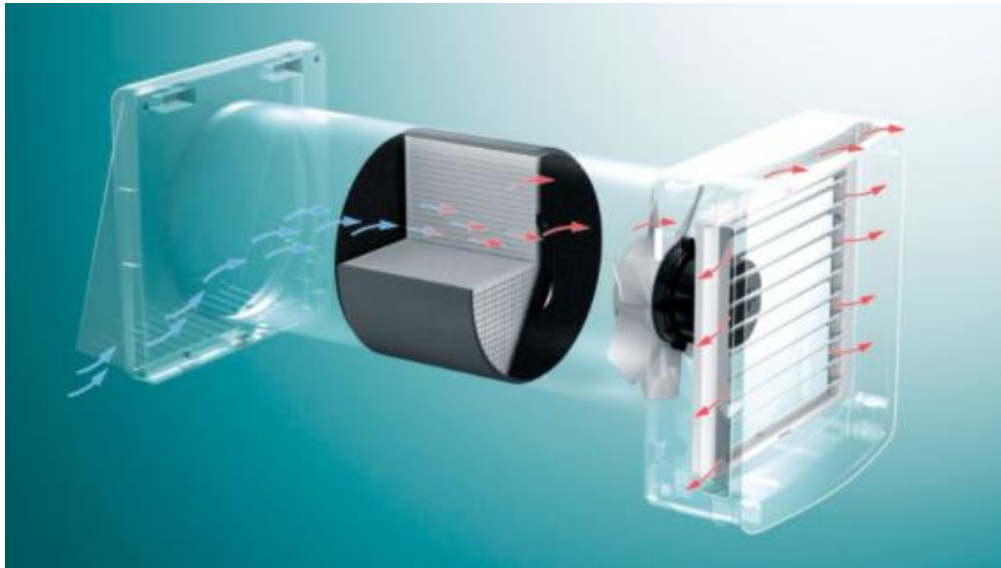


Рисунок 2.7 – Приточно-витяжна установка VAR 60/1 D

Розрахуємо капітальні затрати:

Приточно-витяжна установка з рекуперацією тепла VAR 60/1 D [10], вартість одної становить 9600 грн, для зони робочого простору необхідно 3 установки, для кабінету директора та переговорної по 1 установці, отже загальна вартість складатиме – 48000 грн;

Вартість проектування 18 грн/м<sup>2</sup> – 950 грн;

Додаткове облаштування вентиляційних каналів каналів - 4 000 грн.

Монтаж 6 000 грн.

Загальні інвестиції: 58950 грн.

Термін окупності складе:

$$T = \frac{B}{E} = \frac{58950}{7430} = 7,8 \text{ роки.}$$

### Застосування теплоізоляційного рефлектора

Радіатори системи опалення планується розташовувати під вікнами. Таким чином частина теплового потоку від радіаторів буде витрачатися на прогрів стін. Для зменшення втрати тепла та підвищення температури у приміщеннях пропонується улаштування за радіаторами тепловідбиваючого матеріалу - теплоізоляційного рефлектора завтовшки 5 – 7 мм з поверхнею із фольги (наприклад, пінофол, пінопропілен).

Тепловідбиваючий матеріал з покриттям із фольги перешкоджає прогріванню стіни та підвищує температуру у приміщенні на 2 – 3 градуси без додаткових витрат на збільшення температури теплоносія у системі опалення.

Площа стін, що знаходиться за радіаторами (площа, на яку необхідно буде встановити екрани) становить  $F_{ст.рад} = 16 \text{ м}^2$ .

Розрахуємо втрати тепла через таку площу стіни до встановлення екранів:

$$Q_{ст.рад.} = U \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{сп}}) \cdot n \cdot \beta = 0,28 \cdot 16 \cdot (20 + 0,1) \cdot 1,1 = 99,05 \text{ кВт.}$$

та після встановлення екранів:

$$Q_{ст.рад+екр} = \frac{1}{R_{ст} + R_{екр}} \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{сп}}) \cdot n \cdot \beta = \frac{1}{3,55 + 0,049} \cdot 16 \cdot (20 + 0,1) \cdot 1,1 = 98,29 \text{ кВт.}$$

Різниця між втратами:

$$\Delta Q = Q_{ст.рад} - Q_{ст.рад+екр} = 99,05 - 98,29 = 0,76 \text{ кВт.}$$

Знайдемо економію газу за опалювальний сезон:

$$\Delta Q_{річ} = \Delta Q \cdot 24 \cdot 176 = 0,76 \cdot 24 \cdot 176 = 3205,3 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 440,29 \text{ м}^3.$$

Річна економія витрат становитиме:

$$C = \Delta Q_{\text{piv}} \cdot C_e = 440,29 \cdot 8,35 = 3676,4 \text{ грн.}$$

Витрати на встановлення екранів (обираємо екран товщиною 3 мм, вартістю 120 грн/м<sup>2</sup>) становитимуть:

$$K = F_{\text{рад.ст}} \cdot C_e = 16 \cdot 120 = 1920 \text{ грн.}$$

Термін окупності проекту:

$$T = \frac{K}{C} = \frac{1920}{3676,4} = 0,5 \text{ роки.}$$

## **2.4 Дослідження системи електропостачання**

### **2.4.1. Аналіз сучасного стану постачання електричної енергії**

Живлення офісної будівлі планується від трансформаторної підстанції, що знаходиться на балансі ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі», який являється оператором системи розподілу (ОСР). На основі ліцензії та заключеного договору з постачальником електричної енергії ОСР здійснює розподіл електричної енергії до споживачів. До його функцій також входить керування системою розподілу, встановленням приладів обліку, надійне та якісне електропостачання, ремонт ліній електропередач, підстанцій, під'єднання/від'єднання від ліній розподілу.

Постачальником електроенергії є ТОВ «КИЇВСЬКІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОСЛУГИ», діяльність якого включає розрахунок та нарахування оплати за електроенергію, прийом платежів за спожиту електроенергію, обслуговування клієнтів з питань вартості та умов оплати, фіксування показників лічильників.

Оплата за спожиту електроенергію здійснюється за показами існуючих приладів обліку відповідно до діючих тарифів [11]. Тарифи станом 01.12.2020 наведемо у таблиці 2.25.

Таблиця 2.25 – Тарифи на електроенергію

Споживач		Тарифи на електроенергію, коп./кВт·год		
		без ПДВ	ПВД	з ПДВ
Електроенергія, що відпускається Населенню (у тому числі, яке проживає в житлових будинках, обладнаних кухонними електроплитами)	за обсяг, спожитий до 100 кВт·год електроенергії на місяць (включно)	75	15	90
	за обсяг, спожитий понад 100 кВт·год електроенергії на місяць	140	28	168
Електрична енергія, яка витрачається на технічні цілі та освітлення дворів, східців		140	28	168

#### 2.4.2. Аналіз поточного технічного стану системи електропостачання

Живлення офісної будівлі планується від трансформаторної підстанції, та на якій встановлено два трансформатора ТМ 1000/10/0,4, що резервують один одного. Від цієї підстанції крім будівлі живляться також прилеглі житлові будинки, магазини та інші будівлі мікрорайону. Подачу електроенергії на шини розподільчого пункту (РП) заплановано зробити за допомогою двох кабелів ААБл 3х25+1х16 довжиною 75 м.

Паспортні дані трансформаторів підстанції наведено у табл. 2.26.

Таблиця 2.26 – Дані трансформаторів

$S_H$ , кВА	$U_{H1}$ , кВ	$U_{H2}$ , кВ	$P_{XX}$ , кВт	$P_{K3}$ , кВт	$I_{XX}$ , %	$U_{K3}$ , %
1000	10	0,4	1,9	12,2	1,7	5,5

Система внутрішнього електропостачання розподіляє електроенергію, що надходить від ТП по офісній будівлі. Щитова, в якій розміщено електричний ввід в будівлю, за проектом буде знаходитися біля приміщення топкової. Дане обладнання буде знаходитися на балансі будівлі.



Об'єкт відноситься до II категорії надійності, так як живиться від двох трансформаторів (один з яких у випадку аварійної ситуації повністю буде резервувати живлення будівлі) [12]. Комерційний облік електричної енергії планується здійснювати за допомогою лічильників, які буде встановлено на межі експлуатаційної відповідальності між будівлею та електропередавальною організацією.

Характеристика основних споживачів електроенергії об'єкту

За проектом визначено наступні основні групи споживачів:

1. Силові електроприймачі.
2. Система освітлення.
3. Розеткове обладнання.

Більш детальну інформацію щодо електричного обладнання зведемо до таблиці 2.27.

Таблиця 2.27 - Загальна встановлена потужність електрообладнання

№	Обладнання	Встановлена потужність, кВт	К-ть обладнання, шт	Загальна встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання	Середня потужність, кВт
Освітлення						
1	Люмінесцентні лампи	0,036	96	3,46	0,85	2,94
2	Зовнішнє освітлення	0,15	4	0,6	0,75	0,45
Разом						3,39
Силове обладнання						
1	Холодильник	1	0,5	0,5	0,8	0,4
2	Чайник	1	1,2	1,2	0,7	0,84
3	Піч НВЧ	1	1,8	1,8	0,7	1,26
4	Кавомашини	1	1,8	1,8	0,7	1,26
5	Насос СО	2	0,4	0,8	0,75	0,6
6	Кондиціонер	6	1,1	6,6	0,70	4,62
7	Рушникосушка	1	0,8	0,8	0,80	0,64
Разом						9,62
Офісна техніка						
1	Комп'ютер	20	0,6	12	0,8	9,6
2	Принтер	5	0,5	2,5	0,7	1,75
3	Телевізор	7	0,3	2,1	0,6	1,26
4	Проектор	1	0,25	0,25	0,7	0,175
Разом						12,785

Розрахуємо навантаження будівлі, при цьому результати для кожного споживача електричної енергії наведено у додатку А.

Розрахунок покажемо на прикладі розрахунку силового обладнання.

Номінальна потужність системи, кВт, визначається за формулою за [13]:

$$P_{\text{нл}} = n_1 \cdot P_{\text{н.і}}, \quad (2.49)$$

де  $P_{\text{н.і}}$  – потужність одного електроприймача, кВт;

$n$  – кількість подібних електроприймачів.

Підставивши дані у формулу (2.49), маємо:

$$P_{\text{нл}} = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ кВт.}$$

Проміжна активна потужність припливної системи:

$$P_{\text{пл}} = P_{\text{нл}} \cdot k_{\text{вл}}, \quad (2.50)$$

де  $k_{\text{в}}$  – коефіцієнт використання встановленої потужності.

Отже підставляємо дані у формулу (2.50) маємо:

$$P_{\text{пл}} = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт реактивної потужності  $\text{tg}\phi$ :

$$\text{tg } \phi = \text{tg}(\arccos(\phi)). \quad (2.51)$$

Підставляємо в (2.51):

$$\text{tg}\phi = \text{tg}(\arccos(0,75)) = 0,88.$$

Проміжна реактивна потужність розраховується за наступною формулою:

$$Q_{\text{пл}} = P_{\text{пл}} \cdot \text{tg}\phi. \quad (2.52)$$

Підставляємо отримані дані у формулу (2.52), маємо:

$$Q_{\text{пл}} = 0,5 \cdot 0,88 = 0,35 \text{ квар.}$$

Сумарна кількість ЕП:

$$n_{\text{с}} = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7. \quad (2.53)$$

Підставивши значення у формулу (3.5) отримаємо:

$$n_{\text{с}} = 1 + 1 + 1 + 1 + 2 + 6 + 1 = 13 \text{ од.}$$

Номінальна потужність всіх ЕС на ЩС1:

$$P_{\text{нС}} = \sum P_{\text{нi}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7. \quad (2.54)$$

Підставимо отримані значення у (2.54):

$$P_{\text{нС}} = 11,9 \text{ кВт.}$$

Мінімальне та максимальне значення номінальної потужності ЩС1:

$$p_{\text{нmax}} = \max(p_{\text{нi}}) = 1,8 \text{ кВт;}$$

$$p_{\text{нmin}} = \min(p_{\text{нi}}) = 0,4 \text{ кВт.}$$

Проміжна потужність ЩС1:

активна визначається за формулою:

$$P_{\text{пС1}} = \sum P_{\text{пi}} = P_{\text{п1}} + P_{\text{п2}} + P_{\text{п3}} + P_{\text{п4}} + P_{\text{п5}} + P_{\text{п6}} + P_{\text{п7}}. \quad (2.55)$$

Підставивши значення в формулу (2.55) маємо:

$$P_{\text{пС}} = 9,62 \text{ кВт.}$$

Реактивна проміжна потужність визначається:

$$Q_{\text{пС}} = \sum Q_{\text{пi}} = Q_{\text{п1}} + Q_{\text{п2}} + Q_{\text{п3}} + Q_{\text{п4}} + Q_{\text{п5}} + Q_{\text{п6}} + Q_{\text{п7}}; \quad (2.56)$$

підставляємо результати в (2.56):

$$Q_{\text{пС}} = 7,42 \text{ квар.}$$

Коефіцієнт використання:

$$k_{\text{вС}} = \frac{\sum P_{\text{п}}}{\sum P_{\text{нС}}}. \quad (2.57)$$

Підставляємо значення:

$$k_{\text{вЩС1}} = \frac{9,62}{11,9} = 0,81.$$

Визначаємо  $n_{\text{р.е}}$ :

Ми маємо  $n_{\text{с1}} = 13$  од., тому за наступними формулами:

$$\begin{cases} n_{\text{С}} < 10, n_{\text{р.е}} = \frac{(\sum P_{\text{нС}})^2}{\sum (P_{\text{нi}})^2}; \\ n_{\text{ЩС1}} \geq 10, n_{\text{р.е}} = \frac{2 \cdot \sum P_{\text{нЩС1}}}{P_{\text{нmax}}}. \end{cases} \quad (2.58)$$

Робимо перевірку заданих умов та знаходимо розрахунково ефективну кількість споживачів:

$$n_{\text{р.е}} = 13,2.$$

Визначаємо ефективну кількість споживачів  $n_e$ :

$$\begin{cases} m < 3 \rightarrow n_e = \sum n_i; \\ m \geq 3 \rightarrow \begin{cases} n_{p.e} \geq n_{cn} \rightarrow n_e = n_{cn}; \\ n_{p.e} < n_{cn} \rightarrow n_e = n_{p.e}. \end{cases} \end{cases} \quad (2.59)$$

За виконанням даних умов знаходимо ефективну кількість споживачів:

ми маємо  $m > 3$  та  $n_{p.e} > n_{cn1}$ , тому:

$$n_e = 13 \text{ од.}$$

Значення  $K_p$  обираємо з [13]:

$$K_p = f(n_e; k_{ecn}) = 0,9.$$

Знаходимо розрахункові потужності:

активна:

$$P_{pC} = P_{nC} \cdot K_p, \quad (2.60)$$

$$P_{pC} = 9,62 \cdot 0,9 = 8,66 \text{ кВт};$$

реактивна:

$$Q_{pC} = Q_{nC} = 7,42 \text{ квар};$$

повна потужність знайдемо за формулою:

$$S_{p\text{ЩС1}} = \sqrt{(P_{p\text{ЩС1}})^2 + (Q_{p\text{ЩС1}})^2}; \quad (2.61)$$

за результатами попередніх розрахунків за (3.13) розраховуємо повну потужність:

$$S_{pC} = \sqrt{8,68^2 + 7,42^2} = 11,40 \text{ кВА.}$$

Аналогічний розрахунок проводиться для іншої групи споживачів.

Зробимо перевірку кабелю марки ААБл 3х25+1х16 від ТП 10/0,4 кВ до розподільчого щита. Допустимий струм кабелю  $I_{don} = 102\text{А}$ , активний опір жил кабелю  $r_0 = 1,24 \text{ Ом/км}$  відповідно до [14].

Розрахунковий струм у кабельній лінії визначається за формулою .

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (2.62)$$

Підставимо дані в формулу (2.62).

$$I_p = \frac{25,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 38,44 \text{ А.}$$

Перевіримо за умовою.

$$\frac{I_{\text{розр.}}}{K_1 \cdot K_2} < I_{\text{доп.}}, \quad (2.63)$$

де  $K_1$  і  $K_2$  – коефіцієнти, що враховують умови прокладання та відстань між кабелями відповідно, приймаємо  $K_1 = 1,03$ ,  $K_2 = 0,9$ .

$$\frac{38,44}{1,03 \cdot 0,9} = 41,47 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 102 \text{ А.}$$

Умова виконується.

Визначимо допустимі втрати напруги в лінії, при умові, що  $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп.}} = 5\%$ , за формулою (2.46).

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot r_0 \cdot P_p \cdot l}{U_n^2}, \quad (2.64)$$

де  $l$  – довжина кабелю,  $l = 200$  м;

Підставимо дані в формулу (2.64):

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot 1,24 \cdot 21,20 \cdot 0,15}{380^2} = 1,36 < 5\%.$$

Умова виконується.

### 2.4.3 Шляхи підвищення ефективності використання системи електропостачання для забезпечення електричною енергією

Підвищення ефективності використання електричної енергії є важливим питанням в сфері енергозбереження. Оскільки розглядаєми об'єктом знаходиться на стадії проектування, то запропонування енергоефективних рішень є дуже доречним, а їх втілення не буде викликати труднощів.

### **Заміна ламп на світлодіодні**

За проектом для освітлення будуть використовуватись люмінісцентні лампи потужністю 36 Вт. Пропонується встановити замість них світлодіодні, що дасть змогу зменшити споживання електроенергії при забезпеченні необхідного рівня освітленості. Також до переваг світлодіодних ламп можна віднести значний термін їх експлуатації та відсутність у складі шкідливих речовин, наприклад, таких як ртуть.

Пропонується встановлення світлодіодних ламп потужністю 23 Вт. Економія від впровадження такої альтернативи у порівнянні з використанням люмінісцентних ламп буде становити 5305 кВт·год/рік, або 8910 грн/рік у грошовому еквіваленті. Капіталовкладення включають вартість ламп і складають 17950 грн. Тобто термін окупності даного заходу – 2 роки.

### **Встановлення датчиків присутності**

Для автоматизації систем освітлення пропонується встановлення датчиків руху та присутності, які працюють за наступним принципом: автоматично вмикають та вимикають світло в залежності від присутності людей - за рахунок вбудованого IR-датчика, який аналізує зміну теплової радіації, обробляє її та перетворює на вимірювальний електричний сигнал або в залежності від того, наскільки інтенсивним є світловий потік світла.

Така автоматизована система не лише допомагає економити від 30 до 60% електроенергії щорічно, а і забезпечує комфортний рівень освітленості для персоналу, який не спричиняє негативного впливу на зір. Крім того зменшення періоду роботи системи освітлення збільшує строк служби світильників. Обрано датчики присутності Hager EE 804 A.



Рисунок 2.7 – Датчик присутності Hager EE 804 A

### **Застосування розумних розеток**

Так як об'єктом є офісна будівля, що має багато розеткового обладнання, пропонується встановити розумні розетки, які підключаються безпосередньо до звичайних. Такі розетки за допомогою інтернет-шлюзу мають можливість керування через додаток для смартфонів та ПК. Розумні розетки дають можливість віддаленого керування будь-яким пристроєм, підключеним до них, контролю його робочого статусу (ввімкнуто/вимкнуто), встановлення графіку роботи за допомогою таймера, захисту від перенавантажень.

### **Застосування АСОЕ**

Не менш важливим заходом є впровадження системи автоматизована система обліку енергоресурсів (АСОЕ). Пропонується використання хмарного програмного забезпечення АСОЕ, яке буде мати доступ до лічильників електроенергії за допомогою мережі Інтернет через браузер. Такий підхід виключає необхідність у купівлі серверів та дорогого програмного забезпечення, а також проведенні налаштування всього комплексу, адже необхідними є лише оренда місця в «хмарі» і підключення приладів обліку до модему.

Сервіс АСОЕ дає змогу забезпечити:

- контроль достовірності даних енергоспоживання електроенергії та виключення людських помилок при їх передачі;
- контроль обсягу споживання електроенергії для недопущення перевитрати та штрафів;
- контроль енергоспоживання офіса в цілому з метою аналізу енергоефективності системи електропостачання
- формування погодинних графіків споживання та навантажень режимних.

Переваги сервісу:

- економія – не треба купувати програмний продукт та обладнання для опитування);
- можливість підключення до сервісу з будь-якої точки світу;
- універсальність - сервіс підтримує всі прилади обліку на території України.

#### **2.4.4. Пропозиції щодо модернізації системи електропостачання об'єкту для реалізації завдань магістерської дисертації**

Для модернізації системи опалення, підвищення рівня енергоефективності будівлі, економії споживання теплової енергії та зменшення плати за енергоносії пропонується встановлення інноваційного інженерного обладнання, а саме теплового насосу. У роботі розглядаються дві пропозиції – застосування ТН типу «грунт-вода» та системи на базі насосу типу «повітря-вода».

Доцільним є перевірка існуючої кабельної лінії ААБл 3х25+1х16 від ТП 10/0,4 кВ до розподільчого щита на можливість підключення додаткового електрообладнання. Так як максимальна потужність ґрунтового насосу є



більшою, ніж повітряного, перевірку будемо робити саме для типу «грунт-вода».

Для обраного обладнання – flexoTHERM 117/4 максимальна електрична потужність складає 5,1 кВт для самого ТН та 9 кВт для вбудованого додаткового електронагріву, тобто сумарна потужність складає 14,1 кВт.

Перевіряти будемо для аварійного режиму. За формулами (2.49 -2.61) розраховуємо навантаження офісного приміщення. Результати розрахунків зведемо до таблиці 2. Отримане значення розрахункового навантаження 47,87кВ·А. Тоді розрахунковий струм за (2.62) складає:

$$I_p = \frac{72,73}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 78,46 \text{ А.}$$

Перевіримо кабельну лінію ААБл 3х25+1х16, за формулою (2.63) маємо:

$$\frac{78,46}{1,03 \cdot 0,9} = 84,63 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 102 \text{ А.}$$

Умова виконується.

Визначимо допустимі втрати напруги в лінії, при умові, що  $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}} = 5\%$ , за формулою (2.64).

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot 1,24 \cdot 38,63 \cdot 0,15}{380^2} = 4,07 < 5\%.$$

Умова виконується, а тому додаткове прокладання кабельної лінії до ТП не потребується. Оскільки для підключення теплового насосу потрібно прокласти додатковий кабель від РЩ проведемо розрахунок допустимих характеристик, за якими слідє обирати кабель. Знайдемо струм для кабельної лінії теплового насосу за формулою (2.62).

$$I_p = \frac{21,41}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 32,53 \text{ А.}$$

За розрахованим струмом обираємо кабель ВВГ 3х10+1х6, з наступними характеристиками, відповідно до [14]: допустимий струм кабелю  $I_{доп} = 66$  А, активний опір жил кабелю  $r_0 = 1,84$  Ом/км. Для підключення потрібно прокласти 25 м такого кабелю по повітрю.

Перевіримо кабельну лінію за формулою (2.63):

$$\frac{32,53}{1,03 \cdot 0,9} = 35,09 \text{ А} < I_{доп} = 66 \text{ А}.$$

Умова виконується.

Визначимо допустимі втрати напруги в лінії, при умові, що  $\Delta U \leq \Delta U_{доп.} = 5\%$ , за формулою (2.64).

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot 1,84 \cdot 32,53 \cdot 0,025}{380^2} = 1,04 < 5\%.$$

Умова виконується, отже кабельна лінія розрахована вірно. Ціна даного кабелю 102 грн/м та 15 грн/м прокладання, 450 грн за підключення до електричної мережі нового споживача. Також для повноцінного функціонування та забезпечення ТН електроенергією потрібно встановити щит автоматичного управління ціною 6900 грн. Розрахуємо затрати на встановлення кабелю:

$$K = 102 \cdot 25 + 15 \cdot 25 + 450 + 6900 = 10275 \text{ грн}.$$

Оскільки дозволенна потужність офісної 50 кВт, а після електро модернізації та підключення ТН потужність становитиме 38,63 кВт, потреби в заключенні нового договору з електропостачальною організацією немає.

Засоби підключення теплових насосів до мережі.

Тепловий насос під'єднують до електромережі напругою 230В та частотою 50Гц.

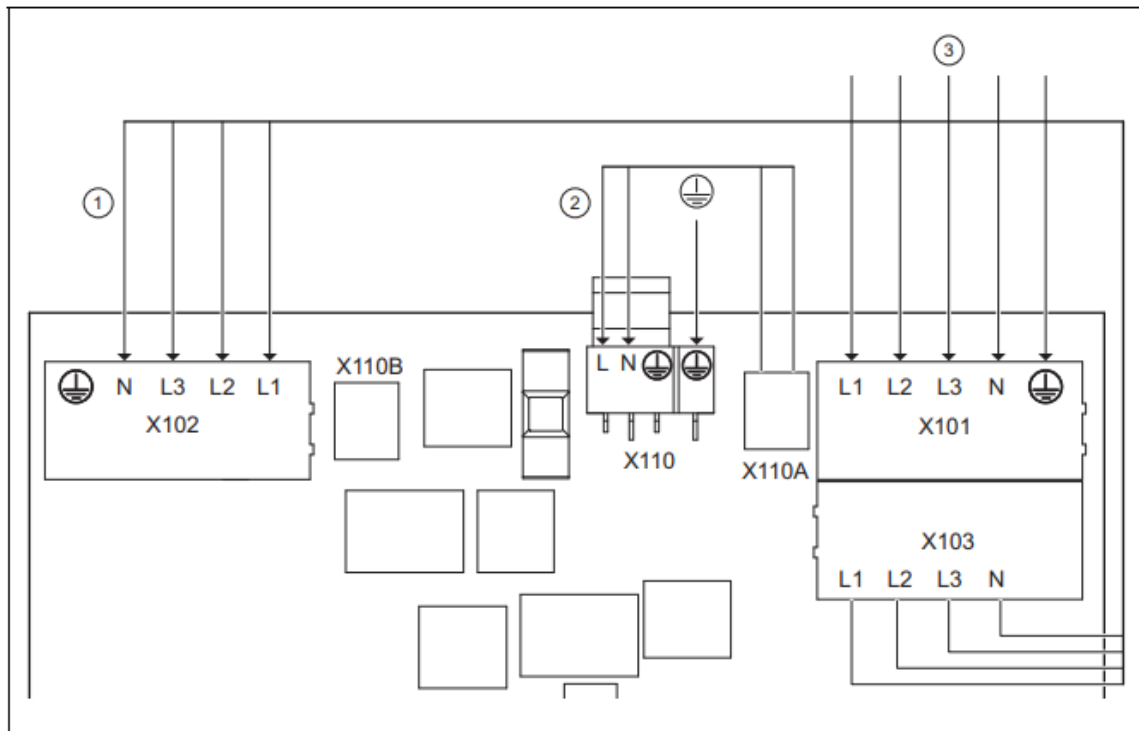


Рисунок 2.8 – Підключення теплового насосу

1 – Електроживлення, внутрішній додатковий електричний нагрів.

2 – Електроживлення, управління.

3 – Постійне електроживлення.

X110A – Додатковий вихід за напругою до плати регулятора(X110)

X101 – Головне підключення до мережі, компресор

X110B – Додатковий вихід за напругою до плати регулятора(X110)

X102 – Підключення до мережі, внутрішній додатковий електричний нагрів

X103 – Додатковий вихід за напругою до внутрішнього додаткового електричного нагріву(X102)

X110 – Підключення до мережі, плата регулятора теплового насоса

Зазначена електропроводка відповідає умовам поставки. Виріб підключений до електромережі з тарифом на електроживлення (лічильник споживання). Внутрішній додатковий електричний нагрів вільно забезпечує напругою через кабель-перемичку від X103 до X102, встановлений на заводі. Плата регулятора вільно забезпечується напругою за допомогою

кабелюперемички від X110A до X110, встановленого на заводі. Управління системою може здійснюватися як вручну так і автоматично.

### **Висновки по розділу**

Проведено аналіз втрат теплової та електричної енергії, визначено енергопотреби та енергоспоживання при опаленні, охолодження, освітленні та гарячому водопостачанні будівлі; визначено клас енергетичної ефективності за [4]. В результаті розрахунків було визначено показники огорожуючих конструкцій та їх відповідність вимогам згідно [5]. В результаті аналізу, було виявлено, що термомодернізація огорожуючих конструкцій не потрібна, і можна зосередитися на автоматизації управління системою опалення та модернізацією джерела теплозабезпечення.

Розрахунок навантаження для будівлі показав, що ми можемо проводити деякі заходи з енергозбереження, а саме встановлення теплових насосів. Варіант встановлення теплових насосів показав, що з електричної точки зору не потребує суттєвих змін у схемі постачання електроенергії. Також запропонована автоматизування системи контролю споживання енергоресурсів.

### 3 ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОГО ІНЖЕНЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

#### 3.1 Підвищення рівня енергоефективності офісної будівлі при застосуванні газового конденсаційного котла

Конденсаційний котел – це котел, який до теплоти, отриманої від охолодження димових газів додає теплоту, отриману від конденсації водяної пари від тих самих газів. Їх створення стало можливим завдяки початку масового виробництва кислотостійких легированих сталей (нержавіючих).

Конденсаційні котли мають ряд переваг перед звичайними котлами: додаткові 12-15% теплової потужності при однаковій кількості газу, стійкість роботи при недостатньому тиску газу в системі, більший рівень звукоізоляції, можливість роботи на зниженій потужності (глибока модуляція) та ін.

Для модернізації топкової пропонується встановлення конденсаційного котла Vaillant VU INT 166/5-5. Технічні характеристики обраного котла наведемо у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики котла Vaillant VU INT 166/5-5

Характеристика	Показник
1	2
Теплова потужність (в режимі 50/30°C), кВт	3,3... 14,9
Теплова потужність (в режимі 80/60°C), кВт	3,0... 14,0
Теплова потужність в режимі ГВП (в комбінації з ємністним водонагрівачем), кВт	16,0
Температура димових газів мін/макс, °C	40/74
Масс. витрати димових газів мін/макс, г/с	1,44/7,4
Утворення конденсату (рН 3,5-4) в режимі 50/30°C, л/ч	2,6
Остаточний напір циркуляційного насоса (номінальн.), мбар	250,0
Макс. температура подаючої магістралі, °C	85
Макс. робочий тиск в контурі опалення, бар	3
Номінальн. витрати опалювальної води, л/ч	1075
Підключення до електромережі, В / Гц	230/50
Використання електроенергії, не більше, Вт	70

Для системи, яка працює від конденсаційного газового котла, оптимальним є низькотемпературний режим теплоносія – обираємо режим 45/35°C. При цьому необхідно перерахувати значення енергоспоживання при опаленні через зміну середньої температури теплоносія в трубах. Розрахунки виконуємо аналогічно до (2.33-2.40). Результати обчислень зведемо до таблиці 3.2.

Згідно з [3] значення показники ефективності підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти для конденсаційного котла  $\eta_{H,gen} = 80\%$ .

Таблиця 3.2 – Значення енергетичних потоків в підсистемі розподілення

Місяць	$Q_{H,dis,out}$ кВт·год	$Q_{H,em,is}$ кВт·год	$Q_{H,dis,Is,nrbl}$ кВт·год	$Q_{Hdis,Is,rbl}$ кВт·год	$Q_{H,em,is.rvd}$ кВт·год	$Q_{H,em,is.nrvd}$ кВт·год	$Q_{H,dis,in}$ кВт·год
1	2	3	4	5	6	7	9
Січень	4533,64	839,19	249,98	892,80	778,39	364,39	4898,03
Лютий	4239,24	784,70	111,20	794,30	695,76	209,74	4448,98
Березень	2830,58	523,95	96,77	691,20	577,48	210,49	3041,07
Квітень	455,96	84,40	10,08	72,00	23,49	58,59	514,55
Жовтень	789,89	146,21	25,80	184,32	59,92	150,21	940,09
Листопад	2829,67	523,78	108,86	1036,80	876,72	268,95	3098,61
Грудень	3893,84	720,76	126,24	901,73	773,45	254,52	4148,36

Таблиця 3.3 – Розрахунок енергоспоживання при опаленні

Місяць	$Q_{H,em,is} = Q_{H,dis,out}$ кВт·год	$Q_{H,dis,in} = Q_{H,gen,out}$ кВт·год	$Q_{H,gen,is}$ кВт·год	$Q_{H,use}$ кВт·год
1	2	3	4	5
Січень	4533,64	4898,03	1224,51	6122,54
Лютий	4239,24	4448,98	1112,25	5561,22
Березень	2830,58	3041,07	760,27	3801,34
Квітень	455,96	514,55	128,64	643,19
Жовтень	789,89	940,09	235,02	1175,12
Листопад	2829,67	3098,61	774,65	3873,27
Грудень	3893,84	4148,36	1037,09	5185,44
$\Sigma$ , кВт·год				26362,12
$EP_{H,use}$ , кВт·год/м <sup>3</sup>				43,92

Перерахуємо споживання теплової енергії на потреби ГВП з врахуванням показники ефективності підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти для конденсаційного котла. Розрахунки аналогічні до (2.42-2.45). Результати обчислень зведемо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Споживання теплової енергії на потреби ГВП

$Q_{W,dis,Is,Hp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,Cp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,on,Cp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,on,Hp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,on}$ кВт·год
429,96	395,58	825,55	358,31	329,65	687,96
$Q_{W,dis,Is,col,off,Hp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,off,Cp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,off}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,om}$ кВт·год	$Q_{DHW,use}$ кВт·год	$EP_{DHW,use}$ кВт·год/м <sup>3</sup>
46,83	43,80	90,64	778,59	4682,88	7,98

Визначимо клас енергетичної ефективності будівлі з теплогенератором – газовим конденсаційним котлом. Розрахунок за (2.48):

$$EP = 43,92 + 1,16 + 7,98 = 51,06 \text{ кВт·год/м}^3.$$

За класифікацією будівель за енергетичною ефективністю будівель згідно [3], клас енергоефективності даної офісної будівлі – “В”.

Розрахуємо річну економію споживання газу при застосування газового конденсаційного котлу в порівнянні зі звичайним:

$$\Delta G = \frac{Q_{useзк}}{9,3 \cdot \eta_{ГК}} - \frac{Q_{useзк}}{9,3 \cdot \eta_{ГК}} = \frac{36413}{9,3 \cdot 0,71} - \frac{31044}{9,3 \cdot 0,8} = 1342,03 \text{ м}^3.$$

У грошовому еквіваленті:

$$C = \Delta G \cdot C_g = 1342,03 \cdot 8,35 = 11206 \text{ грн}.$$

До таблиці 3.5 зведемо дані щодо необхідних капіталовкладень для реалізації системи опалення з газовим конденсаційним котлом (враховувати обладнання, яке планувалася у топковій (водонагрівач, автоматику тощо) не будемо).

Таблиця 3.5 – Капітальні затрати

	Кількість	Вартість одиниці	Загальна вартість, грн
Газовий котел есоТЕС plus VU 166/5-5	1	30000	30000
Насос для відводу конденсату	1	3750	3750
Воронка для відводу конденсату	1	450	450
Облаштування відводу конденсату	1	1000	1000
Підключення та пусконаладка	1	5500	5500
Всього:			40700

Таблиця 3.6 – Фінансові показники заходу

Рік	Капітальні витрати, грн.	Щорічні експлуатаційні витрати, грн.	Економія від впровадження проекту, грн.	Грошовий потік, грн.	Кумул. грошовий потік, грн.	Коеф-т дисконту	Дисконт грошовий потік, грн.	Кумул. дисконт грошовий потік, грн.
0	40700	0	0	-40700	-40700	1	-40700	-40700
1			11206	11206	-51906	0,952	10672	-30028
2			11318	11318	-63224	0,907	10266	-19762
3			11431	11431	-74655,2	0,864	9875	-9887
4			11546	11546	-86200,8	0,823	9499	-389
5		500	11661	11161	-97361,8	0,784	8745	8356
6			11778	11778	-109139	0,746	8789	17145
7			11895	11895	-121035	0,711	8454	25599
8			12014	12014	-133049	0,677	8132	33731
9			12134	12134	-145184	0,645	7822	41553
10		1000	12256	11256	-156439	0,614	6910	48463
11			12378	12378	-168818	0,585	7237	55700
12			12502	12502	-181320	0,557	6962	62662
13			12627	12627	-193947	0,530	6696	69358
14			12753	12753	-206701	0,505	6441	75800
15		750	12881	12131	-218832	0,481	5835	81635
16			13010	13010	-231841	0,458	5960	87595
17			13140	13140	-244981	0,436	5733	93328
18			13271	13271	-258253	0,416	5514	98842
19			13404	13404	-271657	0,396	5304	104147
20			13538	13538	-285195	0,377	5102	109249

На рисунку 3.1 покажемо грошові потоки протягом 20 років.



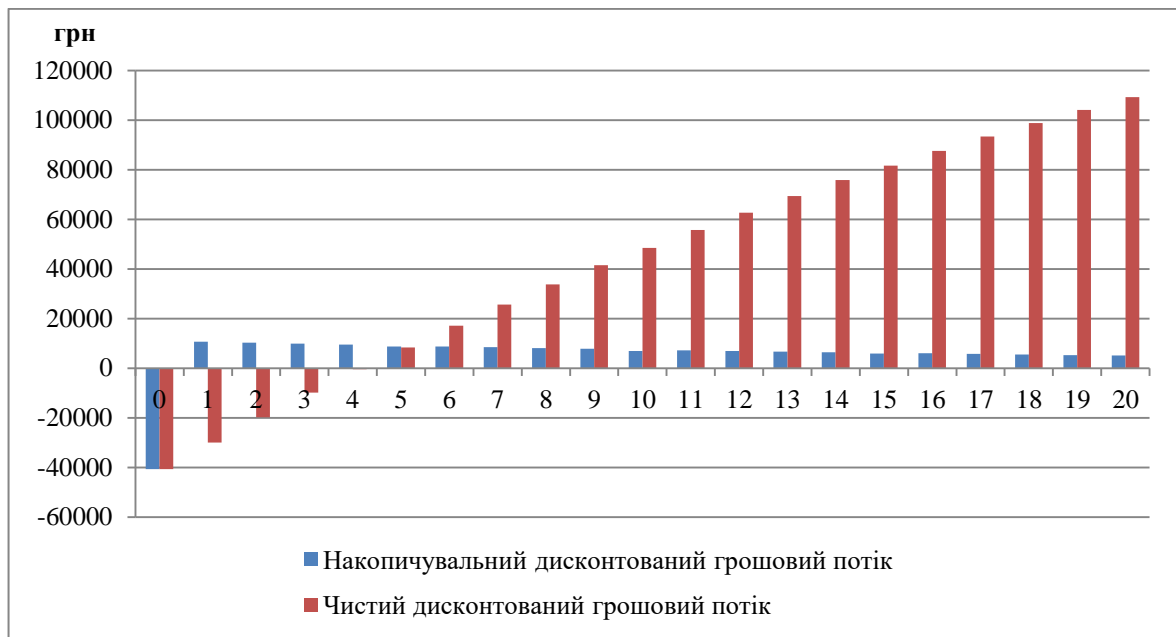


Рисунок 3.1– Фінансові показники заходу

### 3.2 Підвищення рівня енергоефективності офісної будівлі при застосуванні теплового насосу типу «повітря-вода»

Тепловий насос – це пристрій, який використовує розсіяну теплову енергію з довкілля та передає її водогрійному контуру.

Принцип дії теплового насоса наступний: при роботі системи опалення енергія довкілля передається на холодильний агент. Відбувається підвищення температури холодильного агента, при цьому його агрегатний стан змінюється від рідкого до газоподібного. Цей фазовий перехід є необхідною умовою для роботи теплового насоса. Компресор стискає газоподібний холодильний агент, в результаті чого підвищується його тиск, і разом з тим його температура. Коли досягається задана величина температури, холодильний агент надходить на теплообмінник та віддає своє тепло нагрівальному контуру. В результаті чого температура холодильного агента знижується, і він конденсується, знову переходячи у рідкий стан. Після проходження через спеціальний дросельний клапан холодильний агент охолоджується і досягає свого початкового стану. Після цього цикл повторюється спочатку.

### 3.2.1 Підбір теплового насосу за допомогою КР Vaillant

Пропонується встановлення двоступеневого теплового насосу типу "повітря-вода". Теплові насоси можуть виконувати три функції - опалення, кондиціонування і нагрів води. Передбачає встановлення буферної ємності гріючого контуру і ємнісного водонагрівача з одним теплообмінником, для потреб системи гарячого водопостачання. Основним джерелом тепlopостачання запроектованої системи є тепловий насос. Теплоносій - гаряча вода з параметрами  $T_1-T_2 = 45^{\circ}\text{C}/35^{\circ}\text{C}$  від ТН. Для забезпечення необхідних параметрів теплоносія (теплоносій в системі опалення розрахований з параметрами  $45/35^{\circ}\text{C}$ ) для підтримання їх на необхідному рівні без перегріву та недогріву встановлена насосна група.

Підбір теплового насосу будемо робити за допомогою он-лайн сервісу КР Vaillant [15]. Внесемо вихідні дані: місцезнаходження, площу будівлі, кількість людей та ін. (див. рис. 3.2 – 3.3).

**Дані по об'єкту**

Область:

Призначення системи: ☒ Опалення  
☒ Гаряче водопостачання  
☐ Плавальний басейн  
☐ Охолодження (з тепловим насосом)

Етап будівництва: ☒ Споруджуваний будинок  
☐ Реконструкція

Тип будівлі:

Заплановане обладнання: ☐ Газовий котел  
☐ Електричний котел  
☐ Геліоустановка  
☒ Тепловий насос

Рисунок 3.2 – Внесення даних по об'єкту до КР Vaillant

### Тепловтрати

Найближчий населений пункт:	Київ
Розрахункова температура зовнішнього повітря, [°C]:	-22
Опалювальна площа, [м²]:	202
Питомі тепловтрати, [Вт/м²]:	75 ?
Повні тепловтрати, [кВт]:	15,2
Розрахункова температура подаючої магістралі, [°C]:	45

Рисунок 3.3 – Внесення даних по об'єкту до КР Vaillant

Далі за точкою бівалентності обираємо тепловий насос. Точка бівалентності – це оптимальна температура зовнішнього повітря, за якою економічно вигідний перехід на резервне джерело тепла. Для Києва дане значення складає мінус 7 °C.

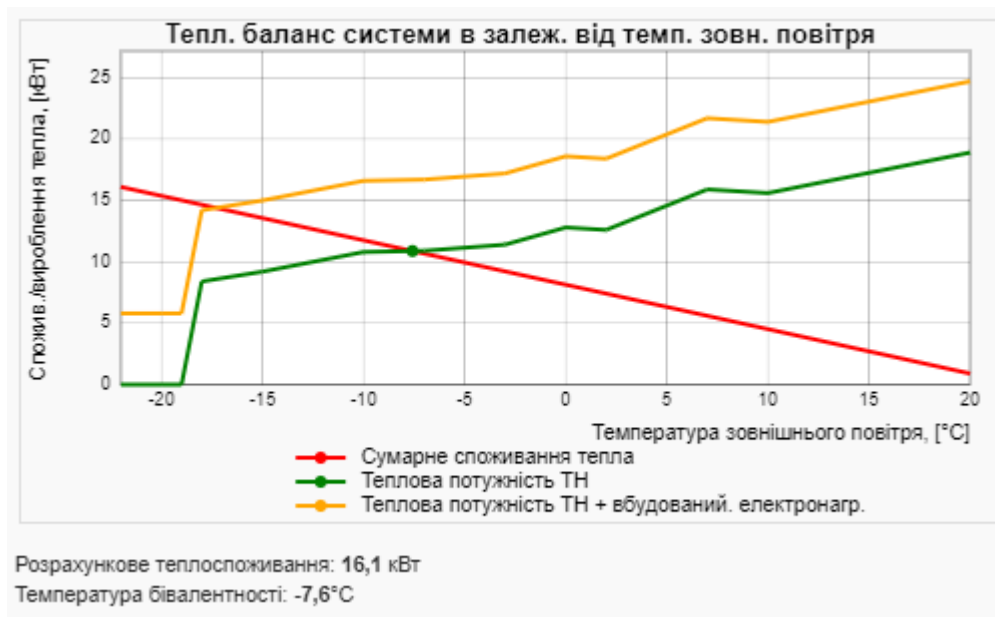


Рисунок 3.4 – Технічний розрахунок системи теплозабезпечення за допомогою ТН типу «повітря-вода»

Так як ТН типу «повітря-вода» мають обмеження по мінімальній температурі навколишнього середовища, підбираємо тепловий насос на 65-85% необхідної теплової потужності системи для роботи у бівалентному

режими з резервним нагрівачем. Таким чином обрано тепловий насос Vaillant aroTHERM VWL 125/5 AS теплопродуктивністю 12 кВт. У якості резервного нагрівача було обрано газовий котел. Встановлення теплових насосів більшої потужності не доцільне, тому що при виборі теплового насосу необхідно враховувати нерівномірність споживання тепла. Обраний тепловий насос споживає 4,76 кВт електричної енергії. Нижче приведемо технічні показники обладнання.

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики обраного ТН

Технічні характеристики	VWL 125/5 AS
1	3
Теплова потужність (A-7/W35), кВт	11,9
Споживання електроенергії, кВт	4,76
Коефіцієнт перетворення COP	2,5
Теплова потужність (A7/W35), кВт	10,3
Споживання електроенергії, кВт	2,24
Коефіцієнт перетворення COP	4,6
Теплова потужність (A7/W55), кВт	11,0
Споживання електроенергії, кВт	3,93
Коефіцієнт перетворення COP	2,8
Теплова потужність (A35/W7), кВт	8,8
Коефіцієнт перетворення EER	2,6
Макс. температура нагріву, °C	62
Мінімальна температура повітря в режимі опалення та нагріву водонагрівача, °C	-20
Мінімальна/ максимальна температура повітря в режимі охолодження, °C	15/46

Перерахуємо значення енергоспоживання при опаленні через зміну середньої температури теплоносія в трубах. Розрахунки виконуємо аналогічно до (2.33-2.40). Результати обчислень зведемо до таблиці 3.8.

Згідно з [3] значення показника ефективності підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти для теплового насосу типу «повітря-вода»  $\eta_{H,gen} = 290\%$ . Так як кількість годин роботи газового котла за весь опалювальний період незначна (менше 10%), то його

коефіцієнтом сезонної ефективності знехтуємо і питоме енергоспоживання будемо розраховувати як для моноенергетичної системи.

Таблиця 3.8 – Розрахунок енергоспоживання при опаленні

Місяць	$Q_{H,em,is} = Q_{H,dis,out}$ кВт·год	$Q_{H,dis,in} = Q_{H,gen,out}$ кВт·год	$Q_{H,gen,is}$ кВт·год	$Q_{H,use,}$ кВт·год
1	2	3	4	5
Січень	4533,64	4898,03	-3209,05	1688,98
Лютий	4239,24	4448,98	-2914,85	1534,13
Березень	2830,58	3041,07	-1992,43	1048,65
Квітень	455,96	514,55	-337,119	177,43
Жовтень	789,89	940,09	-615,923	324,17
Листопад	2829,67	3098,61	-2030,13	1068,49
Грудень	3893,84	4148,36	-2717,89	1430,47
$\Sigma$ , кВт·год				7272,31
$EP_{H,use,}$ , кВт·год/м <sup>3</sup>				12,39

Перерахуємо споживання теплової енергії на потреби ГВП з врахуванням показника ефективності підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти для теплового насосу типу «повітря-вода». Розрахунки аналогічні до (2.42-2.45). Результати обчислень зведемо до таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Споживання теплової енергії на потреби ГВП

$Q_{W,dis,Is,col,off,Hp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,off,Cp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,off}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,om}$ кВт·год	$Q_{DHW,use}$ кВт·год	$EP_{DHW,use}$ кВт·год/м <sup>3</sup>
46,83	43,80	90,64	778,59	1291,83	2,20

Визначимо клас енергетичної ефективності будівлі з теплогенератором – тепловим насосом типу «повітря-вода». Розрахунок за (2.48):

$$EP = 12,39 + 1,16 + 2,20 = 15,76 \text{ кВт·год/м}^3.$$

За класифікацією будівель за енергетичною ефективністю будівель згідно [3], клас енергоефективності даної офісної будівлі – “А”.

Для оптимізування (збільшення COP) роботи теплового насоса встановимо буферну ємність для теплових насосів VPS R 100/1 M. В якості ємнісного водонагрівача непрямого нагріву обираємо ємнісний бойлер для теплових насосів uniSTOR VIH RW 200 HP. Так як при дуже низьких зовнішніх температурах повітряні теплові насоси виключається, то в якості резервного джерела живлення пропонується обрати газовий або електричний котел. Оберемо газовий котел, підібраний у п. 3.1. Завдяки сучасній автоматиці, регулятор multiMATIC VRC700/6 буде сам обирати, яким теплогенератором зараз вигідніше опалювати – котлом чи тепловим насосом. Перемикання у системі буде спрацьовувати в автоматичному режимі.

### 3.2.2 Підбір та аналіз теплового насосу за допомогою програмного середовища GeoTSol

В програмному середовищі GeoTSol розглянемо тепловий насос "повітря-вода". ТН буде працювати для системи опалення та ГВП.

У розділі System selection оберемо теплову схему топкової. Пропонується обрати систему з буферною ємністю та водонагрівачем (див. рис. 3.5)

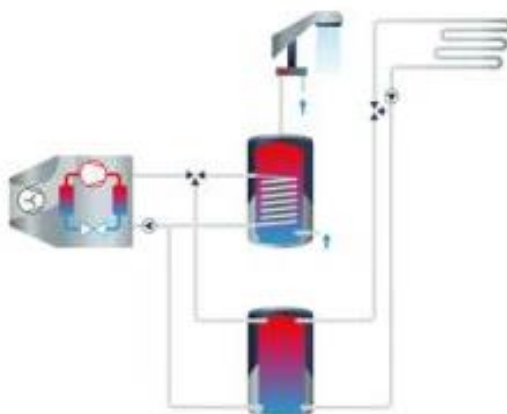


Рисунок 3.5 – Система з ТН для потреб опалення та ГВП

У вкладці Project Data обираємо кліматичний регіон – у нашому випадку це Київ. Далі необхідно ввести дані про систему на вкладці Space Heating: опалювальну площу, теплове навантаження системи, необхідну температуру у приміщенні, температури подачі та обратки системи опалення. Введені дані покажемо на рис. 3.6.

Space heating loop

Low temp. (LT) heating loop proportion: 100,0 %

Low temperature heating loop

Supply temperature: 40,0 °C

Return temperature: 30,0 °C

High temperature heating loop

Supply temperature: 50,0 °C

Return temperature: 35,0 °C

Requirements

☒ Heating load: 15,6 kW

☐ Heating output (yearly total): 26 531 kWh

☐ Heating output (monthly): Monthly values

Heated useable area: 202 m²

Indoor temperature: 20,0 °C

Heating limit temperature: 15 °C

Standard outdoor temperature: -14 °C

Specific heating load: 77 W/m²

Spec. annual heat requirement: 130 kWh/m²

Рисунок 3.6 – Дані системи опалення

На вкладці Domestic Hot Water введемо дані про систему ГВП: кількість людей, добову витрату та температуру води гарячої води. Дані представимо на рисунку 3.7.

Domestic Hot Water

Consumption

☒ DHW consumption known

Average daily usage: 180 l

No. Persons: 4

Consumption per person and day: 45 l

Annual energy consumption: 2 725 kWh

Spec. annual energy consumpt: 13,5 kWh/m²

Temperatures

DHW target temperature: 45 °C

☒ Calculate cold water temperature based on climate data

Cold water temperature in February: 5,5 °C

Cold water temperature in August: 12,5 °C

DHW Recirculation Loop

☐ DHW recirculation loop used

Single length of pipes: 10 m

Temperature spread feed/return: 5,0 K

Spec. losses: 0,30 W/(m K)

Operating times: 6 - 21

Volume flow: ---

Resulting losses (approx.): ---

Рисунок 3.7 – Дані системи ГВП

Після задання необхідних параметрів у програмі GeoTsol, обираємо тепловий насос aroTHERM VWL 125/5 AS - рис. 3.8.

Heat pump	
Manufacturer:	Vaillant Deutschland GmbH Co. KG
Product:	aroTHERM VWL 125/6 A (S2)
Construction type:	Air/Water
Nominal heating power:	5,8 kW

Рисунок 3.8 – Обраний ТН

На вкладці Tank обираємо буферну ємність та водонагрівач.

Tank	
<b>DHW tank</b>	
Volume:	<input type="text" value="200"/> l
Insulation thickness:	<input type="text" value="100"/> mm
<b>Buffer tank</b>	
Volume:	<input type="text" value="100"/> l
Insulation thickness:	<input type="text" value="100"/> mm

Рисунок 3.9 – Підбір водонагрівача та буферної ємності

На наступній вкладці Mode of Operation пропонується обрати режим роботи ТН: моноенергетичний, бівалентний паралельний, бівалентний альтернативний або бівалентний комбінований. Обираємо бівалентний комбінований режим, коли при досягненні точки бівалентності ТН не вимикається, а працює паралельно з резервним генератором до мінімально допустимої температури зовнішнього повітря.

Monovalent/monoenergetic operation			
<input type="radio"/> Monovalent	<input type="radio"/> Monoenergetic, parallel	Power of heating element:	<input type="text" value="16,0"/> kW
<input type="radio"/> Monoenergetic, alternative	<input type="radio"/> Monoenergetic, partially parallel	Heating element out of service above:	<input type="text" value="-7,0"/> °C
<input checked="" type="radio"/> Monoenergetic, partially parallel		Heat pump out of service below:	<input type="text" value="-20,0"/> °C

Рисунок 3.10 – Вибір режиму роботи ТН



Виконавши симуляцію, GeoTsol показав, що підбір ТН є правильними і. Отримані результати відобразимо на рисунку 3.11 та 3.12.

SPF (from simulation)		VDI 4650	
SPF of heat pump:	3,76	Min. source temperature:	---
SPF of heat pump system:	3,01	Performance share at std. outdoor air temp.:	70 %
SPF generator system (HP + solar thermal):	---	Coverage:	94 %
		Outdoor temperatur at switch off:	-20 °C
		SPF of heat pump:	4,12
		SPF of heat pump with solar system:	---

Рисунок 3.11 – Результати симуляції

Energy generated / Year		Losses / Year	
Supplied by heat pump:	25 994 kWh (91 %)	Tank losses:	490 kWh
Supplied by boiler:	--- kWh	...fraction of solar tank losses:	--- kWh
Supplied by solar system:	--- kWh	DHW recirculation loop:	--- kWh
Supplied by elec. heating rod:	2 551 kWh (9 %)	Solar loop piping indoors:	--- kWh
		Solar loop piping outdoors:	--- kWh
Utilized energy / Year		Solar loop	
Space Heating:	25 534 kWh (90 %)	Solar fraction:	--- %
Domestic hot water:	2 740 kWh (10 %)	Solar fraction DHW:	--- %
		Efficiency of solar system:	--- %
Power consumption / Year		Irradiation onto active solar surface:	--- kWh
Heat pump:	6 923 kWh (73 %)	Energy delivered by collectors:	--- kWh
Heating element:	2 551 kWh (27 %)		
Auxiliary energy:	--- kWh		
Solar loop pump:	--- kWh		
Boiler (fuel):	--- kWh		

Рисунок 3.12 – Результати симуляції

Як бачимо з результатів симуляції, вироблена тепловим насос енергія є повністю використана на опалювання та приготування гарячої води. Коефіцієнт продуктивності  $SPF = 3,76$ .

На рисунку 3.13 розглянемо помісячний графік коефіцієнта продуктивності.

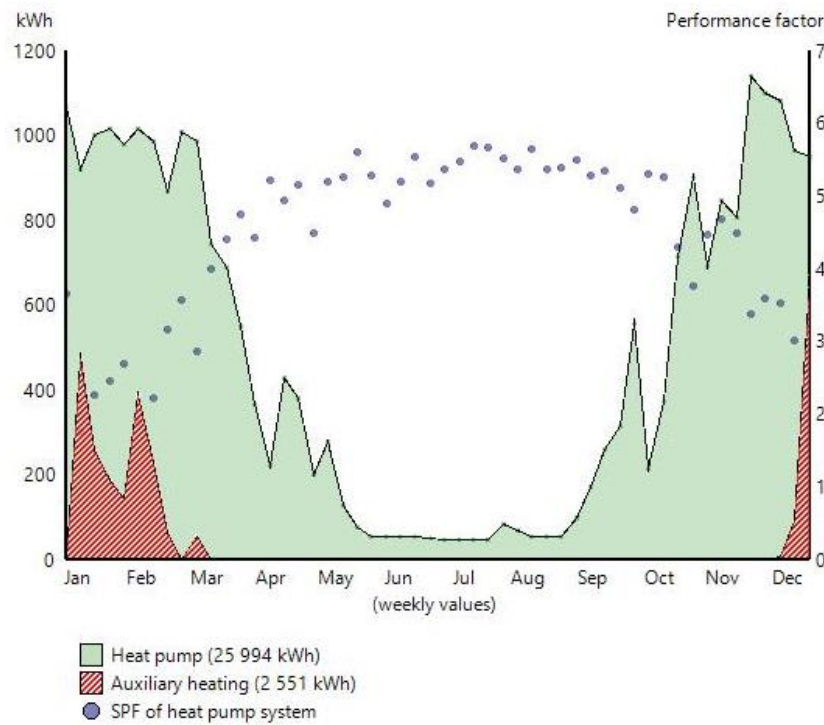


Рисунок 3.13 – Графік Performance factor

Проглянувши графік можна зробити висновок, що в зимові місяці тепловий насос виробляє максимальну кількість теплової енергії, а також вмикається резервний генератор.

Як бачимо з результатів симуляції у програмі GeoTsol, річне споживання електроенергії тепловим насосом складає 6923 кВт·год. Додатковий теплогенератор – газовий котел – за опалювальний період покриває 9% необхідної теплоти на опалення, споживаючи при цьому 2551 кВт·год.

Розрахуємо річне споживання газу:

$$G = \frac{Q}{8 \cdot \eta_{ГК}} = \frac{25994}{9,3 \cdot 0,8} = 3921,016 \frac{\text{м}^3}{\text{рік}}.$$

Річна економія від застосування ТН складає:

$$C = G \cdot C_g - W_{HP} \cdot C_{ee} = 3921,01 \cdot 8,35 - 6923 \cdot 1,68 = 21109,85 \text{ грн}.$$

До таблиці 3.10 зведемо дані щодо необхідних капіталовкладень для реалізації системи опалення з ТН типу «повітря-вода».

Таблиця 3.10 – Капітальні затрати

Найменування	Кількість	Вартість одиниці	Загальна вартість
Зовнішній блок arOTHERM VWL 125/5 AS	1	162700	162700
Внутрішній блок VWL 125/5 IS	1	49200	49200
Буферна ємність для теплового насосу	1	12060	12060
VR 32/2b Коммутатор для котлів з шиною ebus	1	2400	2400
Монтаж теплового насоса	1	4500	4500
Монтаж фреонові траси	1	35000	35000
Матеріали для фреонові траси	1	20000	20000
Підключення та пусконаладка бівалентної системи ТН+ЕК	1	5500	5500
Всього:			291360

До таблиці 3.11 Зведемо дані про фінансові показники заходу.

Таблиця 3.11 – Фінансові показники заходу

Рік	Капітальні витрати, грн.	Щорічні експлуатаційні витрати, грн.	Економія від впровадження проекту, грн.	Грошовий потік, грн.	Кумул. грошовий потік, грн.	Коеф-т дисконту	Дисконт грошовий потік, грн.	Кумул. дисконт грошовий потік, грн.
0	291360	0	0	-291360	-291360	1	-291360	-291360
1			21243	21243	-312603	0,952	20232	-271128
2			21456	21456	-334059	0,907	19461	-251667
3			21670	21670	-355729	0,864	18720	-232948
4			21887	21887	-377616	0,823	18006	-214941
5		500	22106	21606	-399222	0,784	16929	-198012
6			22327	22327	-421549	0,746	16661	-181352
7			22550	22550	-444099	0,711	16026	-165326
8			22776	22776	-466875	0,677	15415	-149910
9			23003	23003	-489879	0,645	14828	-135082
10		1000	23233	22233	-512112	0,614	13649	-121433
11			23466	23466	-535578	0,585	13720	-107713
12			23700	23700	-559278	0,557	13197	-94515
13			23937	23937	-583216	0,530	12695	-81821
14			24177	24177	-607393	0,505	12211	-69610
15		750	24419	23669	-631061	0,481	11385	-58225
16			24663	24663	-655724	0,458	11298	-46926
17			24909	24909	-680634	0,436	10868	-36058
18			25159	25159	-705792	0,416	10454	-25605
19			25410	25410	-731202	0,396	10056	-15549
20			25664	25664	-756867	0,377	9673	-5876

На рисунку 3.14 покажемо грошові потоки протягом 20 років.

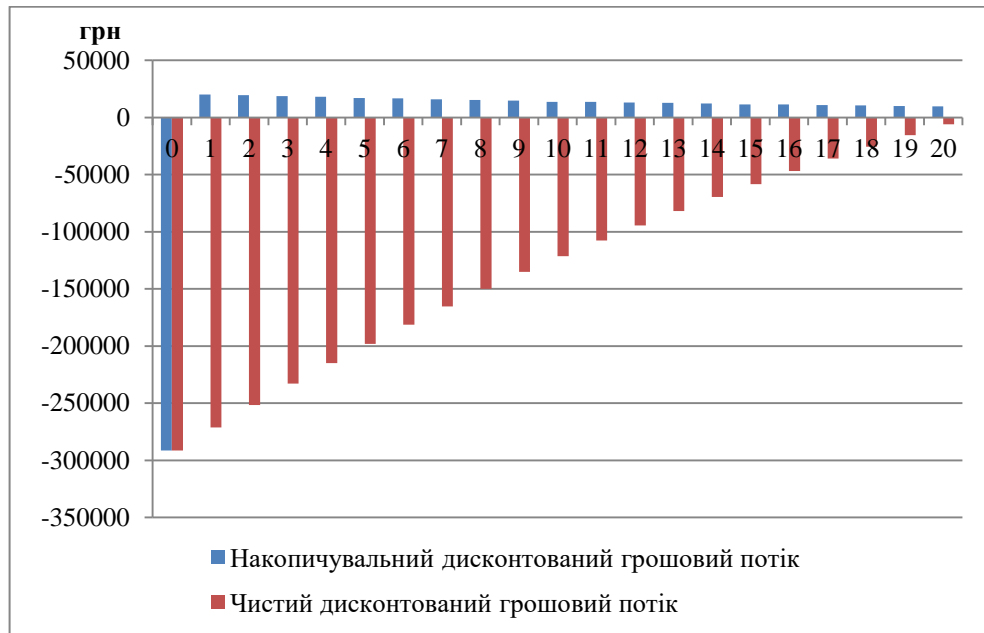


Рисунок 3.14 – Фінансові показники заходу

Простий термін окупності складатиме:

$$T = \frac{K}{C} = \frac{291360}{21109,85} = 13,8 \text{ роки}$$

### 3.3 Підвищення рівня енергоефективності офісної будівлі при впровадженні теплового насосу типу «ґрунт-вода»

Пропонується розглянути встановлення теплового насосу типу «ґрунт-вода». Ґрунт – це джерело низькопотенційної енергії з найбільшою тепловіддачею протягом всього року. Тепло ґрунту може бути вилучено за допомогою ґрунтового колектора, ґрунтового зонду та компактного колектора.

Ґрунтовий колектор. Ґрунт акумулює сонячну енергію, ця енергія сприймається ґрунтом або безпосередньо у вигляді сонячної радіації, або опосередковано у вигляді тепла, отриманого від дощу чи повітря. Горизонтальний ґрунтовий колектор складається з системи труб, укладеної на земельній ділянці на 20 см нижче межі рівня промерзання. На такій глибині

протягом року зберігається температура 5-15°C. Колектор підходить для будинків, що розташовані на великих земельних ділянках. Тепловвідача залежить від типу ґрунту: чим він вологіше, тим вони вище. Для забезпечення рівномірного проникнення вологи та сонячного тепла до ґрунту, не рекомендується забудова та висадження дерев та кущів на ділянці над колектором.

Компактний колектор складається з декількох колекторних матів, у які входять безліч тонких пластикових трубок. Цей тип ґрунтового колектору потребує меншої площі для встановлення. Окремі колекторні мати поєднуються паралельно за допомогою комбінації розподілювача. Система розташовується також на 20 см нижче межі рівня промерзання.

Вертикальний ґрунтовий зонд – найбільш популярний спосіб відбору ґрунтового тепла. На глибині 18 м значення температури землі додатне (+10°C) і постійна протягом року. Буріння свердловини відбувається, зазвичай, на глибину до сотні метрів, у неї опускається спеціально конструкція із пластикових труб. В цих трубах циркулює незамерзаюча рідина – розсіл. Свердловину заливають розчином, який утворює теплопровідний моноліт. За необхідністю свердловина може бути розподілена на декілька свердловин. Вертикальний ґрунтовий зонд особливо підходить для земельних ділянок невеликої площі, на яких немає достатнього простору для вкладання колектору.

### **3.3.1 Підбір теплового насосу за допомогою KР Vaillant**

Оберемо тепловий насос flexoTHERM 117/4 з вбудованим електричним нагрівачем 9 кВт. За допомогою KР Vaillant побудуємо тепловий баланс системи на базі теплового насосу в залежності від зовнішнього повітря. Як видно з рис. 3.13 при застосуванні вбудованого електронагрівача теплова потужність теплового насосу є більшою за сумарне споживання, тобто

можливий моноенергетичний режим роботи – без застосування додаткового резервного джерела живлення.

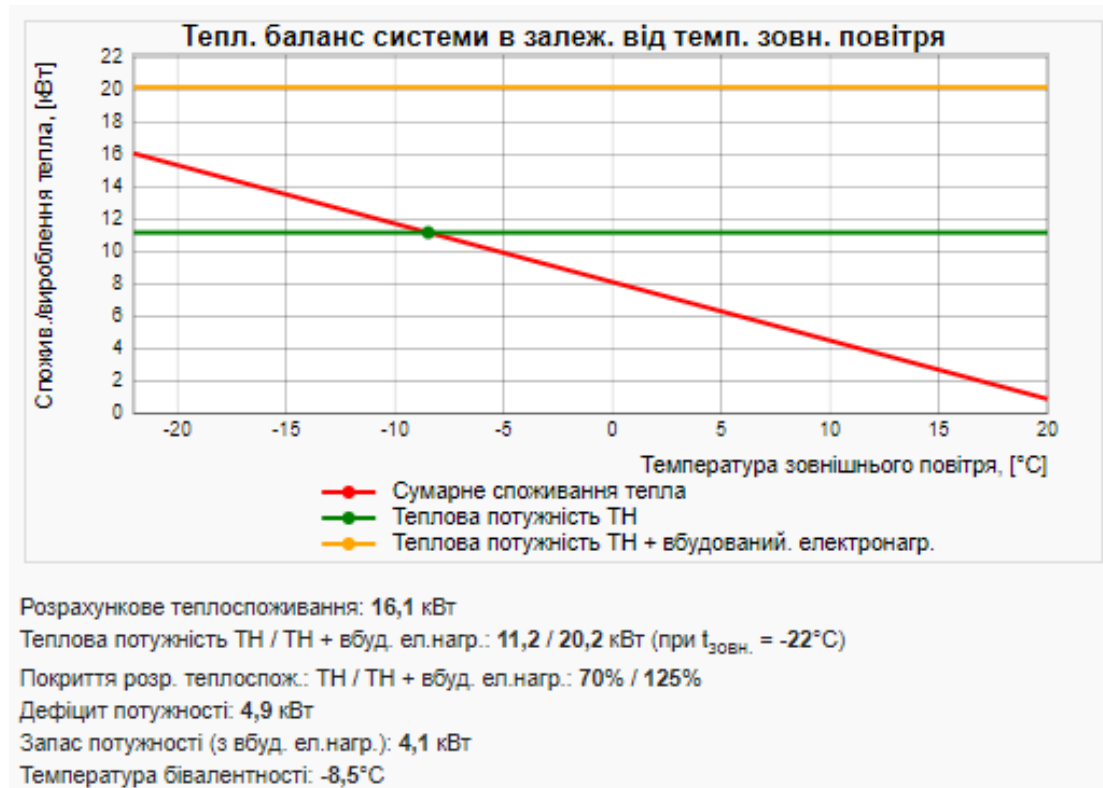


Рис. 3.15 – Технічний розрахунок системи опалення на базі ґрунтового теплового насосу

Розрахуємо глибину свердловини:

$$L = \frac{Q_{\text{TH}} - P_{\text{TH}}}{q},$$

де:  $Q_{\text{TH}}$  – корисна теплова потужність теплового насосу, кВт,

$P_{\text{TH}}$  – споживана електрична потужність теплового насосу, кВт;

$q$  – питомий теплос'єм з ґрунту, Вт/м<sup>2</sup>.

За технічними даними теплового насосу flexoTHERM 117/4 при B0/W55 маємо:

$$L = \frac{11400 - 3800}{35} = 218 \text{ м.}$$

Максимальна довжина одного зонду не повинна перевищувати 100 м через великий гідравлічний опір. Пропонується встановлення трьох зондів по 75 м.

Перерахуємо значення енергоспоживання при застосуванні в системі теплового насосу типу «ґрунт-вода», при цьому  $\eta_{H,gen} = 390\%$ . Розрахунки виконуємо аналогічно до (2.33-2.40). Результати обчислень зведемо до таблиці 3.12. Так як кількість годин роботи газового котла за весь опалювальний період незначна (менше 10%), то його коефіцієнтом сезонної ефективності знехтуємо і питоми енергоспоживання будемо розраховувати як для моноенергетичної системи.

Таблиця 3.12 – Розрахунок енергоспоживання при опаленні

Місяць	$Q_{H,em,is} = Q_{H,dis,out}$ кВт·год	$Q_{H,dis,in} = Q_{H,gen,out}$ кВт·год	$Q_{H,gen,is}$ кВт·год	$Q_{H,use,}$ кВт·год
1	2	3	4	5
Січень	4533,64	4898,03	-3642,13	1255,91
Лютий	4239,24	4448,98	-3308,22	1140,76
Березень	2830,58	3041,07	-2261,31	779,76
Квітень	455,96	514,55	-382,614	131,94
Жовтень	789,89	940,09	-699,044	241,05
Листопад	2829,67	3098,61	-2304,1	794,52
Грудень	3893,84	4148,36	-3084,67	1063,68
$\Sigma$ , кВт·год				5407,61
$EP_{H,use}$ , кВт·год/м <sup>3</sup>				9,21

Перерахуємо споживання теплової енергії на потреби ГВП. Розрахунки аналогічні до (2.42-2.45). Результати обчислень зведемо до таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Споживання теплової енергії на потреби ГВП

$Q_{W,dis,Is,col,off,Hp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,off,Cp}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,off}$ кВт·год	$Q_{W,dis,Is,col,om}$ кВт·год	$Q_{DHW,use}$ кВт·год	$EP_{DHW,use}$ кВт·год/м <sup>3</sup>
46,83	43,80	90,64	778,59	960,59	1,64

Визначимо клас енергетичної ефективності будівлі з теплогенератором – тепловим насосом типу «грунт-вода». Розрахунок за (2.48):

$$EP = 9,21 + 1,16 + 1,64 = 12,01 \text{ кВт-год/м}^3.$$

За класифікацією будівель за енергетичною ефективністю будівель згідно [3], клас енергоефективності даної офісної будівлі – “А”.

### 3.3.2 Підбір та аналіз теплового насосу за допомогою програмного середовища GeoTSol

В програмному середовищі GeoTSol розглянемо тепловий насос "грунт-вода" із бурінням свердловин. Тепловий насос буде працювати для системи опалення та ГВП.

У розділі System selection оберемо теплову схему топкової. Пропонується обрати систему з буферною ємністю та водонагрівачем (див. рис. 3.15).



Рисунок 3.15 – Система з ТН для потреб опалення та ГВП

У вкладці Project Data обираємо кліматичний регіон – у нашому випадку це Київ. Далі необхідно ввести дані про систему на вкладці Space



Heating: опалювальну площу, теплове навантаження системи, необхідну температуру у приміщенні, температури подачі та обратки системи опалення. Введені дані покажемо на рис. 3.16.

Space heating loop					
Low temp. (LT) heating loop proportion:	100,0	%			
Low temperature heating loop		High temperature heating loop			
Supply temperature:	40,0	°C	Supply temperature:	50,0	°C
Return temperature:	30,0	°C	Return temperature:	35,0	°C
Requirements					
<input checked="" type="radio"/> Heating load:		15,6	kW		
<input type="radio"/> Heating output (yearly total):		26 531	kWh		
<input type="radio"/> Heating output (monthly):		Monthly values			
Heated useable area:	202	m <sup>2</sup>	Specific heating load:	77	W/m <sup>2</sup>
Indoor temperature:	20,0	°C	Spec. annual heat requirement	130	kWh/m <sup>2</sup>
Heating limit temperature:	15	°C			
Standard outdoor temperature:	-14	°C			

Рисунок 3.16 – Дані системи опалення

На вкладці Domestic Hot Water введемо дані про систему ГВП: кількість людей, добову витрату та температуру води гарячої води. Дані представимо на рисунку 3.17.

Domestic Hot Water					
Consumption					
<input checked="" type="checkbox"/> DHW consumption known					
Average daily usage:	180	l	Annual energy consumption:	2 725	kWh
No. Persons:	4		Spec. annual energy consumpt	13,5	kWh/m <sup>2</sup>
Consumption per person and day:	45	l			
Temperatures					
DHW target temperature:	45	°C			
<input checked="" type="checkbox"/> Calculate cold water temperature based on climate data					
Cold water temperature in February:	5,5	°C			
Cold water temperature in August:	12,5	°C			
DHW Recirculation Loop					
<input type="checkbox"/> DHW recirculation loop used					
Single length of pipes:	10	m	Operating times:	6	h
Temperature spread feed/return:	5,0	K	Volume flow:	---	
Spec. losses:	0,30	W/(m K)	Resulting losses (approx.):	---	

Рисунок 3.17 – Дані системи ГВП

Після задання необхідних параметрів у програмі GeoTsol, обираємо тепловий насос flexoTHERM exclusive VWF 117/4 та відобразимо його на рис. 3.18

### Heat Generator

Heat pump	
Manufacturer:	Vaillant Deutschland GmbH Co. KG
Product:	flexoTHERM exclusive VWF 117/4
Construction type:	Brine/Water
Nominal heating power:	11,1 kW

Рисунок 3.18 – Обраний ТН

На вкладці Heat Source водимо дані для розрахунку геотермальних зондів: питомий теплотіст з ґрунту, максимальну глибину буріння свердловини. Програма розрахує необхідну довжину зондів.

### Heat Source

Heat pump		Geothermal probe	
Power input on the cold side:	8,9 kW	Borehole diameter:	150 mm
<b>Brine</b> Nominal output of brine pump: 5,00 W Flow rate: 2 567 l/h Glycol: 30 %		Construction type:	Double U-Pipe
<b>Ground</b> Undisturbed ground temperature: 10,0 °C		Infill:	Simple grouting
		<b>Length of the borehole heat exchanger</b> Spec. extraction rate: 35,0 W/m Maximum drilling depth: 100 m Required heat probe length: 254 m	
		Calculate size Number of wells: 3 at 84,5 m	

Рисунок 3.19 – Розрахунок зондів

На вкладці Tank обираємо буферну ємність та водонагрівач.

### Tank

DHW tank	
Volume:	200 l
Insulation thickness:	100 mm

Buffer tank	
Volume:	200 l
Insulation thickness:	100 mm

Рисунок 3.20 – Підбір водонагрівача та буферної ємності

На наступній вкладці Mode of Operation Обираємо паралельний режим, коли за потреби вбудований електричний ТЕН буде працювати разом з ТН.

Monovalent/monoenergetic operation			
<input type="radio"/> Monovalent	<input checked="" type="radio"/> Monoenergetic, parallel	Power of heating element:	9,0 kW
	<input type="radio"/> Monoenergetic, alternative	Heating element out of service above:	-5,0 °C
	<input type="radio"/> Monoenergetic, partially parallel	Heat pump out of service below:	--- °C

Рисунок 3.21 – Вибір режиму роботи ТН

Виконавши симуляцію, GeoTsol показав, що підбір ТН є правильними і на 100% буде покривати потребу. Отримані результати відобразимо на рисунку 3.20 та 3.21.

Simulation Results	
Seasonal Heat Performance Factor (SPF) <b>Energies</b>	
SPF (from simulation)	
SPF of heat pump:	4,60
SPF of heat pump system:	3,50
SPF generator system (HP + solar thermal):	---
VDI 4650	
Min. source temperature:	-1,3 °C
Performance share at std. outdoor air temp.:	70 %
Coverage:	98 %
Outdoor temperatur at switch off:	--- °C
SPF of heat pump:	4,83
SPF of heat pump with solar system:	---

Рисунок 3.21 – Результати симуляції

Energy generated / Year			Losses / Year		
Supplied by heat pump:	27 025 kWh	(91 %)	Tank losses:	601 kWh	
Supplied by boiler:	---	kWh	...fraction of solar tank losses:	---	kWh
Supplied by solar system:	---	kWh	DHW recirculation loop:	---	kWh
Supplied by elec. heating rod:	2 657 kWh	(9 %)	Solar loop piping indoors:	---	kWh
Utilized energy / Year			Solar loop piping outdoors:	---	kWh
Space Heating:	26 567 kWh	(91 %)	Solar loop		
Domestic hot water:	2 740 kWh	(9 %)	Solar fraction:	---	%
Power consumption / Year			Solar fraction DHW:	---	%
Heat pump:	5 870 kWh	(69 %)	Efficiency of solar system:	---	%
Heating element:	2 657 kWh	(31 %)	Irradiation onto active solar surface:	---	kWh
Auxiliary energy:	13 kWh	(0 %)	Energy delivered by collectors:	---	kWh
Solar loop pump:	---	kWh			
Boiler (fuel):	---	kWh			

Рисунок 3.22 – Результати симуляції

Як бачимо з результатів симуляції, вироблена тепловим насосом енергія є повністю використана на опалювання та приготування гарячої води. Коефіцієнт продуктивності  $SPF = 4,60$ .

На рисунку 3.23 розглянемо помісячний графік коефіцієнта продуктивності.

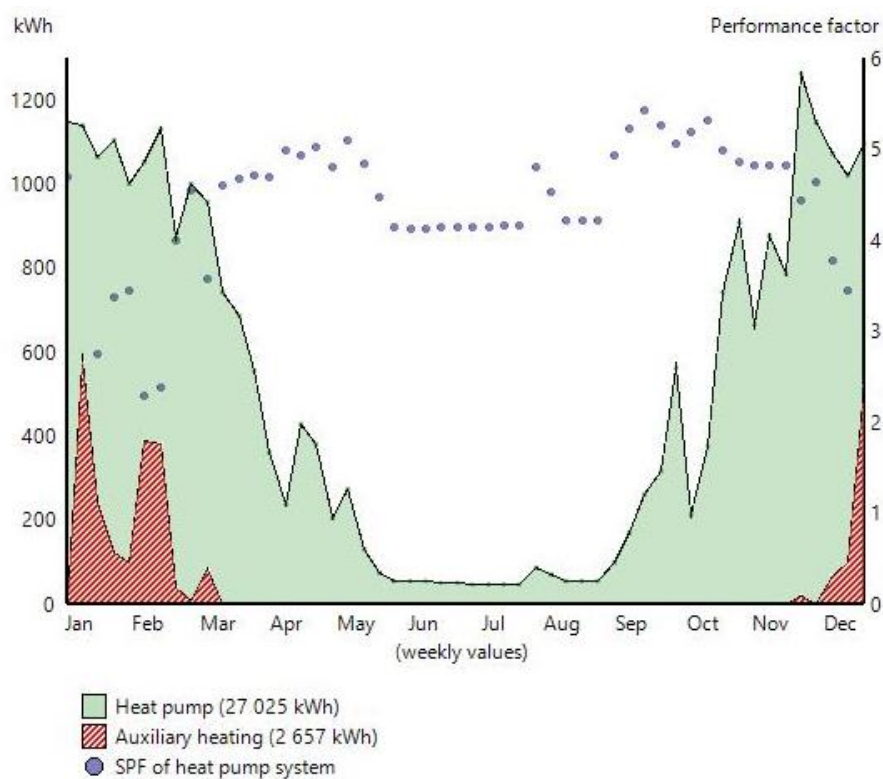


Рисунок 3.23 – Графік Performance factor

Проглянувши графік можна зробити висновок, що в зимові місяці тепловий насос виробляє максимальну кількість теплової енергії, а також включається вбудований ТЕН.

Як бачимо з результатів симуляції у програмі GeoTsol, річне споживання електроенергії тепловим насосом складає 5870 кВт·год. Додаткове джерело теплоти (вбудований ТЕН) за опалювальний період покриває 9% необхідної теплоти на опалення, споживаючи при цьому 2470 кВт·год електроенергії.

Розрахуємо річне споживання газу:

$$G = \frac{Q}{9,3 \cdot \eta_{ГК}} = \frac{29682}{9,3 \cdot 0,71} = 4495 \text{ м}^3.$$

Річна економія від застосування ТН складає:

$$C = G \cdot C_g - (W_{HP} + Q_{HE}) \cdot C_{ee} = 4495 \cdot 8,35 - (5870 + 2657) \cdot 1,68 = 23208 \text{ грн}.$$

До таблиці 3.14 Зведемо дані щодо необхідних капіталовкладень для реалізації системи опалення з ТН типу «грунт-вода».

Таблиця 3.14 – Капітальні вкладення

Найменування	Кількість	Вартість одиниці	Загальна вартість
Тепловий насос flecoTHERM 117/4	1	187000	165000
Гідравлічна підключення	1	6500	6500
Буферна ємність для теплового насосу	1	23500	23500
Монтаж теплового насоса	1	3500	3500
Буріння свердловини	225	250	55000
Терморезисторне зварювання зондів та заповнення пропіленгліколем	6	1250	7500
Прокладка трубопроводів від зондів до приямка	30	300	9000
Гідравлічний монтаж розподільчого колектору зовнішнього	1	450	450
Матеріали для монтажу зовнішнього контуру	1	65000	65000
Підключення та пусконаладка	1	3500	4500
Всього:			339950

До таблиці 3.15 Зведемо дані про фінансові показники заходу.

Таблиця 3.15 – Фінансові показники заходу

Рік	Капіта льні витрат и, грн.	Щорічні експлуатацій ні витрати, грн.	Економія від впровадження проекту, грн.	Грошови й потік, грн.	Кумул. грошови й потік, грн.	Коеф-т дисконт у	Дисконт грошови й потік, грн.	Кумул дисконт грошови й потік, грн.
0	339950	0	0	-339950	-339950	1,000	-339950	-339950
1			23208	23208	-363158	0,952	22103	-317847
2			23674	23674	-386832	0,907	21473	-296374
3			23911	23911	-410743	0,864	20655	-275719
4			24150	24150	-434894	0,823	19868	-255850
5		500	24392	23892	-458785	0,784	18720	-237130
6			24636	24636	-483421	0,746	18383	-218747
7			24882	24882	-508303	0,711	17683	-201064
8			25131	25131	-533434	0,677	17010	-184054
9			25382	25382	-558816	0,645	16362	-167693
10		1000	25636	24636	-583452	0,614	15124	-152568
11			25892	25892	-609344	0,585	15139	-137430
12			26151	26151	-635495	0,557	14562	-122868
13			26413	26413	-661908	0,530	14007	-108860
14			26677	26677	-688585	0,505	13474	-95387
15		750	26944	26194	-714779	0,481	12600	-82787
16			27213	27213	-741992	0,458	12467	-70320
17			27485	27485	-769477	0,436	11992	-58329
18			27760	27760	-797237	0,416	11535	-46794
19			28038	28038	-825275	0,396	11095	-35698,5
20			28318	28318	-853593	0,377	10673	-25025,7

На рисунку 3.24 покажемо грошові потоки протягом 20 років.

Загальний термін окупності складатиме:

$$T = \frac{K}{C} = \frac{339950}{23208} = 14,6 \text{ роки}$$

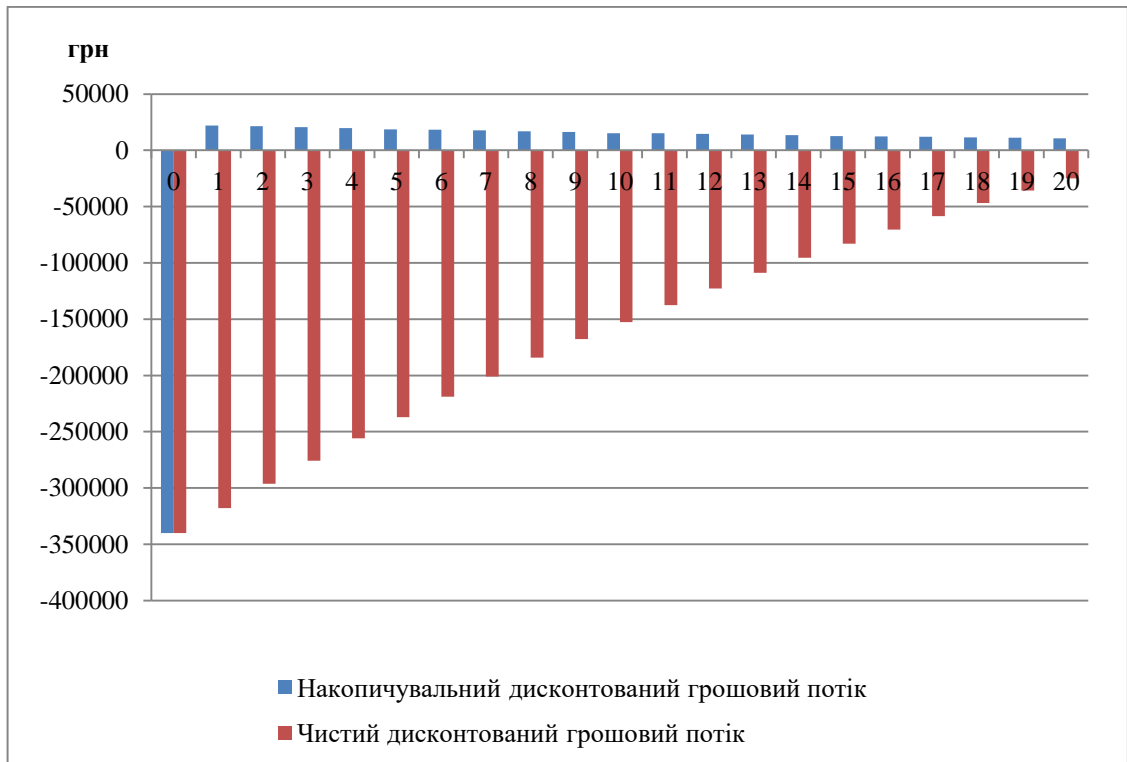


Рисунок 3.24 – Фінансові показники заходу

### Висновки по розділу

Було розглянуто три варіанти модернізації топкової – зі застосуванням газового конденсаційного котла, теплового насосу типу «повітря-вода» та теплового насосу типу «грунт-вода». Після виконання моделювання за допомогою програми GeoTsol було перевірено обрані теплові насоси та отримано графіки споживання теплової енергії. Також у розділі було розраховано рівень енергоефективності будівлі при застосування газового конденсаційного котла та теплових насосів з урахуванням сезонної ефективності виробництва/генерування теплоти. При застосуванні котла клас енергоефективності будівлі змінився на «В», а при застосуванні теплових насосів – на «А».

## 4 ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА МОНІТОРИНГ

### 4.1 Завдання енергетичного менеджменту

В наш час проблема енергозбереження та енергоефективності є дуже актуальною. Тому доречно на підприємствах та установах запроваджувати систему енергетичного менеджменту.

Енергетичний менеджмент — діяльність, що спрямована на забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів і базується на отриманні енерготехнологічної інформації за допомогою обліку, проведенні типового енерготехнологічного вимірювання та перевіряння, аналізування ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та впровадження енергозберігаючих заходів [16].

Система енергоменеджменту забезпечує за рахунок впровадження організаційних заходів стабільну економію енергії (5–15%) на підприємствах, установах та закладах різного профілю.

Основним документом для запровадження СЕМ є [17]. Цей стандарт ґрунтується на методології, відомій як цикл постійного поліпшення «Плануй — Виконуй — Перевірйай — Дій» («Plan — Do — Check — Act» (PDCA)), і запроваджує енергетичний менеджмент у повсякденну діяльність (практику).

Основна ідея такого підходу наведена на рисунку 4.1.

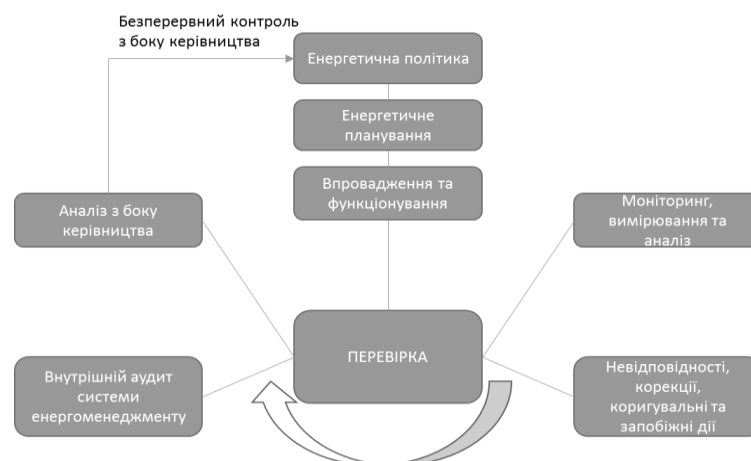


Рисунок 4.1 — схема впровадження енергоменеджменту



Впровадження будь-яких заходів з енергозбереження не буде мати максимальну ефективність без функціонування системи енергоменеджменту.

## **4.2 Аналіз існуючої ситуації**

За проектом на об'єкті дослідження не заплановано системи енергоменеджменту, проте наявні певні її риси. Так, наприклад, заплановано встановлення лічильників електроенергії, газу та холодної води. Тож на такому етапі керівництво офісу може аналізувати свої данні по споживанню.

## **4.3 Запропонована структура енергоменеджменту на об'єкті**

Пропонується визначити головного енергоменеджера офісу: це може бути як хтось з керівництва або відділу АХ. В його обов'язки будуть входити аналіз даних по споживанню енергоресурсів, проведення роз'яснювальних заходів щодо енергозбереження, пропозиції щодо заходів з енергозбереження, інформування та навчання персоналу щодо роботи з інноваційним обладнанням.

Щодо обліку енергоресурсів, для офісної будівлі пропонується застосування АСОЕ, що дозволить оперативно контролювати споживання та, в разі необхідності, допоможе швидко ідентифікувати аварійну ситуацію.

## **Висновки до розділу**

В даному розділі було розглянуто систему енергетичного менеджменту на об'єкті дослідження. Було розроблено ряд рекомендацій щодо її створення та функціонування.

Основною метою створення системи енергоменеджменту в офісній будівлі є аналіз та контроль енергоспоживання, пошук найбільш ефективних та раціональних можливостей для енергозбереження.

## **5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ У СХЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ОФІСНОЇ БУДІВЛІ**

Стартап - це новий фінансовий проект, мета якого - швидко окупити вкладені інвестиції і отримати прибуток. Стартап є тимчасовою формою організації. Стартап завжди шукає відтворену і масштабовану бізнес-модель, адже ідея розвивається з нуля, а головна мета стартапу - знайти джерела прибутку.

Стартап вважається досить ризикованою формою підприємництва, проте в наш час, коли немає обмежень до джерел збуту продукції та пошуку можливих інвесторів, процес реалізації стартапу вже не викликає труднощів. Більш важливим та ключовим є наявність унікальної ідеї, новітньої технології, які можна застосовувати для вирішення проблем сьогодення та виводити їх на ринок інноваційних продуктів. Для цього передбачається аналіз ринкових та фінансових перспектив зростання проекту, формування принципів базисів та графіків реалізації продукту, аналіз можливих ризиків та створення цікаву та привабливої комерційної пропозиції для потенційних інвесторів.

Завдання розділу полягає у визначенні перспективності запропонованих у цій роботі науково-технічних рішень і пропозицій за допомогою маркетингового аналізу та оцінці можливостей їх ринкового впровадження [18].

### **5.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту**

В наш час спостерігається тенденція зростання цін на енергетичні ресурси, до того ж погіршення стану навколишнього середовища та глобальне потепління спонукають шукати та використовувати нові альтернативні джерела енергії, що не будуть мати негативних наслідків на

екологію та допоможуть відчувати економію від їх використання при збереженні комфортних умов для споживачів.

Одним із видів обладнання, яке дозволяє примножити безкоштовну енергією довкілля та передати її системі опалення є тепловий насос. Тепловий насос отримує теплову енергію від ґрунту, повітря або води і за допомогою спеціального процесу нагріває теплоносії до належної температури. Головним компонентом установки є холодильний агент, який багаторазово випаровується, стискається та зріджується [1]. Ідея стартапу полягає у проведенні розрахунків та встановленні теплового насоса для потреб офісної будівлі.

У таблиці 5.1 наведемо обґрунтування цілей етапів реалізації стартапу.

Таблиця 5.1 – Цілі основних етапів реалізації стартап-проекту

Етапи реалізації стартап-проекту	Цілі етапів реалізації стартап-проекту
Початковий етап стартап-проекту	Дослідження потреб та запитів споживачів, суперечностей та технологічних недосконалостей діючих продуктів-аналогів конкурентного середовища
Етап обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї	Задоволення нових потреб споживачів, подолання певних суперечностей поточних технологічних процесів, вдосконалення діючих технологій та устаткування тощо
Етап аналізу конкурентного середовища	Виявлення можливих конкурентів-виробників, які виготовляють схоже обладнання або пропонують схожі технології та здійснення порівняльного аналізу техніко-економічних переваг та недоліків реалізації пропонованої ідеї
Етап обґрунтування ресурсного забезпечення проекту	Визначення необхідних матеріальних, трудових, капітальних ресурсів, ключових процесів, технології, обладнання та реалізації проекту в часі і просторі
Етап фінансового забезпечення реалізації проекту	Обґрунтування собівартості та ціни реалізації інноваційної ідеї
Інвестиційний етап реалізації стартап-проекту	Пошук потенційних інвесторів фінансування стартап-проекту
Маркетинговий етап реалізації проекту	Обґрунтування каналів збуту продукту стартап-проекту, залучення потенційних споживачів, формування необхідних сегментів ринку

## 5.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту

В останні роки у світі спостерігається тенденція зростання продажів ТН, що спричинене зростанням цін на енергоносії, впровадженням політики з декарбонізації, бажанням отримати незалежність від імпорту енергоносіїв, універсальністю ТН як генераторів теплоти, адже вони можуть працювати на систему опалення взимку та систему охолодження влітку. Лідерами з продажів ТН у світі є Японія, США, Швеція, Франція, Німеччина.

Перешкодами широкому використанню ТН в Україні є необізнаність населення та невіра потенціальних покупців у ефективність технології. Людей лякають високі першочергові капітальні затрати, що включають дороге обладнання та складні монтажні роботи. Проте при грамотному розрахунку терміну окупності, обґрунтуванні усіх переваг (економія, незалежність від енергоносіїв, зменшення зношуваності розподільчої системи та ін.) та акценті на екологічній безпеці ТН можна розглядати як альтернативу традиційним джерелам теплопостачання, що може наблизити Україну до здійснення національних стратегічних цілей сталого розвитку. У таблиці 5.2 приведемо аналіз актуальності запропонованої ідеї.

Таблиця 5.2 – Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
Встановлення теплового насосу для підвищення рівня енергоефективності офісної будівлі	Офісні будівлі	1. Зменшення витрат на опалення та ГВП 2. Децентралізація системи теплозабезпечення
	Торгівельні центри	3. Незалежність від традиційних енергетичних ресурсів 4. Підвищення рівня енергоефективності
	Бізнес-центри	5. Зменшення викидів в атмосферу

### 5.3 Аналіз конкурентного середовища

У таблиці 5.3 виконаємо аналіз найбільш близьких за діяльністю конкурентів на ринку (виробників ТН) та визначимо найбільш сильні та слабкі сторони проекту.

Таблиця 5.3 – Аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Стартап проект	Конкурент1	Конкурент2
1	2	3	4	5
1	СОР	6,3	5,8	4,2
2	Можливість автоматизації	так	так	так
3	Можливість роботи в каскаді	так	так	ні
4	Можливість вибору найбільш вигідного енергоресурсу при бівалентному режимі роботи	так	ні	ні
5	Гарантія, рік	10	5	2
6	Екологічність	Висока	Висока	Висока
7	Доступність	Середня	Середня	Висока
8	Надійність	Висока	Висока	Середня

Зробимо SWOT-аналіз потенційних загроз та можливостей реалізації стартап-проекту, визначивши сильні та слабкі сторони, а також його можливості та загрози. Водночас, зауважимо, що SWOT-аналіз не охоплює остаточну інформацію для реалізації стартап-проекту, однак дозволяє налагодити процес формування бізнес-ідеї.

### 5.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту

Джерелом енергії є ґрунт. Питомий теплос'єм з ґрунту у потенційному місті встановлення ТН складає 35 Вт/м<sup>2</sup>. За технічними розрахунками для обраного ТН було визначено, що необхідна довжина контуру повинна складати 218 м. Так як максимальна довжина одного зонду не повинна перевищувати 100 м через великий гідравлічний опір, пропонується встановлення трьох зондів по 75 м. Розмір необхідних капіталовкладень в реалізацію стартапу наведемо в табл. 5.5.

Таблиця 5.4 – Матриця SWOT-аналізу

S (strength) – Сильні сторони	W (weaknesses) – Слабкі сторони
1. Зменшення парникових викидів 2. Висока надійність системи з ТН «грунт-вода» 3. Зменшення плати за тепlopостачання 4. Автономність та децентралізація системи опалення 5. Пожежна безпека 6. Автоматичний вибір найбільш економічно вигідного генератора тепла в системі	1. Висока вартість обладнання 2. Дорогий монтаж обладнання 3. Буріння та облаштування зондів
O (opportunities) – Можливості	T (threats) – Загрози
1. Використання альтернативних джерел енергії 2. Забезпечення тепlopостачання та ГВП 3. Незалежність від енергоресурсів 4. Керування системою опалення через Інтернет 5. Можливість роботи в бівалентному режимі 6. Моніторинг та облік спожитої і виробленої енергії	1. Підвищення рівня споживання електричної енергії 2. Можливі загрози під час проведення земельних робіт (буріння свердловин, облаштування колекторів)

Таблиця 5.5 – Обґрунтування капіталовкладень на реалізацію проекту

Статті капіталовкладень	Величина, тис. грн.
<b>Прямі матеріальні затрати</b>	
– витрати матеріалів за винятком повернутих відходів	218100
– витрати комплектуючих виробів	35000
<b>Прямі затрати на оплату праці виробничих працівників</b>	
– заробітна плата за ставками і тарифами виробничих працівників	50000
– інші витрати невідпрацьованого часу виробничих працівників	15000
<b>Соціальні відрахування до Пенсійного фонду – 22% по заробітній платі виробничих працівників</b>	11000
<b>Вартість основних фондів та нематеріальних активів виробничого призначення</b>	
– початкова вартість задіяних у виробничому процесі основних засобів та необоротних нематеріальних активів (разом із транспортуванням, установкою та демонтажем)	75000
<b>Інші прямі витрати:</b>	
– витрати на послуги сторонніх підприємств (охорона, реклама оренда тощо)	15000
– витрати на оплату комунальних послуг	12000
<b>Загальновиробничі витрати</b>	
– витрати на основні засоби та нематеріальні активи загальновиробничого призначення	25000
– витрати на вдосконалення технології й організації виробництва	12000
– витрати на опалення, освітлення, водopостачання, водовідведення та інше утримання виробничих приміщень	7500
– інші загальновиробничі витрати	20000
<b>Всього капіталовкладень на реалізацію проекту</b>	<b>495600</b>

## 5.5 Ключові види діяльності та ключові партнери

Для успішної реалізації проекту пропишемо, яким чином планується досягнення мети, тобто як саме буде здійснюватися виконання завдань проекту. Для цього надаємо опис видів діяльності у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
1	2	3
Розрахунок системи	Розрахунок необхідних показників системи опалення та ГВП, коректний підбір основного теплогенератора – ТН , та допоміжного крупновузлового обладнання	Розрахунок кошторису проекту, розрахунок очікуваної економії, створення та презентування комерційної пропозиції, підписання договору
Монтажні роботи	Облаштування земельної ділянки, буріння скважин, прокладання зондів. Монтаж ТН та основного крупновузлового обладнання. Прокладання кабельної лінії. Обв'язка топкової. Гідравлічні випробовування, пуско-наладка обладнання. Налаштування автоматики.	Готова до експлуатації топкова
Семінар для користувачів	Навчання персоналу, обговорення правил користування обладнанням та моніторингу показників системи	Успішна експлуатація обладнання
Сервісне гарантійне обслуговування	Моніторинг монтажною організацією основних показників обладнання за допомогою віддаленого доступу, виїзд на об'єкт за потреби сервісного обслуговування	Робоча система на базі з ТН

Визначимо ключових партнерів реалізації проекту та зведемо, інформацію про них до табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Інформація про партнерів проекту

Інформація	Партнер 1	Партнер 2
Повна офіційна назва організації-партнера	ДП "Вайллант Група Україна"	ТОВ «Теплосервіс»
Місце розташування	м. Київ	м. Київ
Офіційна адреса	01015, м. Київ, Україна, вул. Лаврська, 16	04071, г. Київ, вул. Ярославська, 60, кв. 102
Телефон	0 (44) 339 98 40	0 (44) 457 48 11
Адреса електронної пошти	kp @vaillant-group.com	teploservis@ukr.net
Роль та залученість до підготовки цього проекту	Постачання обладнання	Монтажні роботи
Завдання, які покладаються на організацію партнера в реалізації проекту	Постачання ТН та допоміжного крупновузлового обладнання	Проведення робіт з облаштування земельної ділянки, буріння свердловин, монтаж ТН та основного обладнання, пуско-налагодка системи.

## 5.6 Фінансове обґрунтування стартап-проекту

Обґрунтуємо необхідні витрати та сформуємо на їх основі собівартість реалізації бізнес-ідеї стартап-проекту та собівартість формування її ціни. Дані зведемо до табл. 5.8.

Таблиця 5. 8 – Прямі матеріальні витрати

п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Загальні витрати
.	Витрати матеріалів	грн.	200000	1	200000
	Витрати комплектуючих виробів	грн.	75000	1	75000
Всього:					<b>275000</b>



## Витрати на оплату праці

В таблиці 5.9 наведемо структуру персоналу та ФОП.

Таблиця 5.9 – Прямі матеріальні витрати

№ П/П	Посада	Форма оплати	Кількість працівників	Заробітна плата (грн.)		
				за місяць	за квартал	за рік
Адміністративно-технічний персонал						
1	Менеджер зі збуту	ставка	1	12000	36000	144000
2	Інженер	ставка	1	25000	75000	300000
3	Консультант	ставка	1	18000	54000	216000
Всього				55000	165000	660000
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)				12100	36300	145200
ФОП				67100	201300	805200
Виробничий персонал						
1	Монтажник	ставка	3	75000	225000	900000
Всього				75000	225000	900000
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)				16500	49500	198000
ФОП				91500	274500	1098000

Інші прямі витрати (на дослідження та розробку, послуги сторонніх організацій, комунальні послуги та оренду, кредити та ін) зведемо до таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Обґрунтування прямих витрат

Види послуг	Джерело даних	Вартість послуг, грн.	
		на місяць	на рік
1. Охорона	Угода	5500	66000
2. Реклама	Угода	4300	51600
3. Оренда	Угода	8000	96000
<b>всього:</b>		<b>17800</b>	<b>213600</b>

До таблиці 5.11 зведемо умовно-змінні витрати, до яких відносять витрати на виробництво певного виду продукції. Величина їх змінюється залежно від зміни обсягу випуску продукції.

Таблиця 5.11 – Умовно-змінні витрати підприємства

Статті витрат	Джерела даних	Витрати (грн.)			
		на 1 од.	на місяць	на квартал	на рік
1. Прямі матеріальні витрати	табл.5.8	4583	22915	68750	275000
2. ФОП виробничого персоналу	табл. 5.9	30500	91500	274500	1098000
всього:		35083	114415	343250	1373000

До табл. 5.12 зведемо умовно-постійні виробничі витрати, до яких відносять витрати на обслуговування і управління виробництва, які залишаються незмінними або майже незмінними при зміні обсягів діяльності.

Таблиця 5.12 – Умовно-постійні витрати підприємства

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, тис.грн			
		на 1 од.	на місяць	на квартал	на рік
1. ФОП адміністративно-технічного персоналу	табл.5.9	16775	67100	201300	805200
3. Оренда	табл. 5.10	2000	8000	24000	9600
4.Охорона	табл. 5.10	1375	5500	16500	66000
5.Реклама	табл. 5.10	1075	4300	12900	51600
всього:		21225	84900	254700	932400

Собівартість інноваційної ідеї розрахуємо, включаючи умовно-змінні та умовно-постійні витрати та зведемо дані до таблиці 5.13.

Таблиця 5.13 – Обґрунтування собівартості товару (послуги)

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, тис.грн			
		на одиницю	на місяць	на квартал	на рік
1. Умовно-змінні витрати	табл. 5.11	35083	114415	343250	1373000
2. Умовно-постійні (накладні) витрати	табл. 5.12	21225	84900	254700	932400
3. Собівартість	ст.1+ст.2	56308	199315	597950	2305400

### 5.7 Рівень рентабельності ідеї

Показники обґрунтування необхідного рівня прибутку інноваційної ідеї, для якої розраховується ціна зведемо до таблиці 5.14.

Таблиця 5.14 – Обґрунтування рівня рентабельності товару (послуги)

Статті витрат	Джерело даних	Од. вимір.	Значення показників.
1. Собівартість одиниці продукції	табл. 5.13	грн.	56308
Обсяг виробництва в рік	Прогноз		40
2. Необхідний прибуток	пп.2,1+2,2+2,3+2,4+2,5+ 2,6+2,7	грн.	403687
2.1. Кредитні засоби та їх обслуговування	Кредитна угода	грн.	0
2.2. Засоби ФРВ	Колективна угода	грн.	163750
2.3. Засоби ФСР	Колективна угода	грн.	72777
2.4. Засоби ПФ	Колективна угода	грн.	36389
2.5. Грошові виплати власникам підприємства	Колективна угода	грн.	54584
2.6. Фінансовий резерв	$(2.1+2.2+2.3+2.4+2.5)*0.05/0.95$	грн.	17237
2.7. Податок на прибуток	$(2.1+2.2+2.3+2.4+2.5)*0.18$	грн.	58950
3. Необхідний рівень рентабельності продукції	п.2 / п.1*100%	%	17,9

## 5.8 Вартість виробництва інноваційної технології

Визначимо величину ПДВ та ціни техніки (технології). Узагальнимо результати обґрунтування в таблиці 5.15.

Таблиця 5.15 – Обґрунтування вартості та ціни

Статті витрат	Джерело даних	Одиниці вимірювання	Значення показників
1. Собівартість одиниці товару (послуги)	табл. 5.13	грн.	56308
2. Норма рентабельності	табл. 5.14	%	17,9
3. «Нормальний» питомий прибуток	п.1 * п.2 / 100%	грн.	10079
4. Вартість виробництва одиниці продукції	п.1 + п.3	грн.	66387
5. ПДВ	п.4*0,2	грн.	13277
6. Відпускна ціна товару (послуги)	п.4+п.5	грн.	79665

Проаналізуємо зміни відпускної ціни в умовах вільного ринку необхідне проведення маркетингового дослідження на продукти-аналоги. Результати досліджень записуються в таблицю 5.16.

Таблиця 5.16 – Порівняльний аналіз сформованої ціни з цінами конкурентних товарів-аналогів

Види ціни	Джерело даних	Одиниці вимірювання	Показники
1. Розрахункова ціна виробництва одиниці продукції з ПДВ	Табл. 5.15	грн.	79665
2. Ринкові ціни товарів-аналогів на ринку	Маркетингове дослідження ринку	грн.	
– Мінімальна		грн.	65000
– максимальна		грн.	90000
– середня		грн.	75000
3. Скоригована ціна реалізації			85000

## 5.9 Цільова група потенційних споживачів

Опишемо цільову групу потенційних споживачів. Зведемо дані до таблиці 5.17

Таблиця 5.17 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Офісні будівлі	Бажання власників офісів зменшити витрати на опалення та ГВП	Підвищення попиту на застосування альтернативних джерел енергії призводить до збільшення пропозиції	На ринку ще недостатньо кваліфікаційних кадрів для запропонування технічно правильного та економічно вигідного рішення

## 5.10 Канал збуту

Зведемо до таблиці 5.18 формування системи збуту.

Таблиця 5.18 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Оптимальна система збуту
1	Разова покупка обладнання та замовлення монтажу та наладки	Збут через мережу інтернет, напряму зі споживачем, робота з базою клієнтів	1. Пряма система збуду 2. Реклама

## 5.11 Бізнес-модель проекту

Розробка стартап-проекту - це створення бізнес-моделі комерціалізації науково-технічних розробок. Зрештою, це план компанії по отриманню

прибутку. Для вирішення поставлених у роботі задач важливим є застосування конкурентоспроможної бізнес-моделі. Вона представляє структуру найважливіших елементів бізнес-проекту та є джерелом інноваційних ідей та підходів, які можна застосувати в унікальному поєднанні компонентів. Структуру бізнес-моделі представимо у табл. 5.19.

Таблиця 5.19 – Структура бізнес моделі обладнання (технології)

Ключові партнери:	Ключові види діяльності:	Цінність пропозиції:	Взаємовідносини з клієнтами:	Споживчі сегменти:
1. ДП "Вайллант Група Україна" 2. ТОВ «Теплосервіс»	1. Розрахунок показників системи 2. Підбір обладнання 3. Монтаж теплового насосу 4. Сервісне обслуговування	Впровадження альтернативних джерел енергії у офісних приміщеннях, зменшення витрат на опалення та ГВП	Пряма взаємодія з клієнтами	Офісні приміщення
	Ключові ресурси: 1. Витрати на придбання обладнання 2. людські ресурси 3. фінансові ресурси		Канали збуту:  Прямий продаж  Рекламні технології: он-лайн реклама, рекламні статті, телебачення, соціальні мережі	
Структура собівартості: 1.Витрати разові (капітальні): 253100 2.Витрати постійні 35083 3.Витрати змінні: 21225			Потоки надходження доходу: Продаж та встановлення теплових насосів	

## Висновки по розділу

Проведений аналіз стартап-проекту, показав, що створення компанії, яка займається впровадженням теплових насосів у автономні системи опалення з можливістю аналізу та вибору найбільш економного джерела, є достатньо перспективним проектом з можливістю комерціалізації. Аналіз ринку та аналіз розвитку енергетичних систем генерації теплової енергії в

Україні, показує, що сьогодні існує великий попит на впровадження альтернативних джерел енергії. Також достатньо позитивна динаміка, для розвитку подібних компаній, адже багато власників офісних приміщень бажають зменшити витрати на опалення та отримати незалежність, а також зробити внесок у боротьбі за чисте оточуюче середовище

Компанія, яка займається прорахунком системи та підбором обладнання для офісних приміщень стикається з конкуренцією, проте має перевагу, адже існує нестача кваліфікаційних кадрів, здатних зробити коректні розрахунки. До того ж важливим чинником є можливість аналізу споживання системою енергоресурсів та вибір найбільш оптимального в автоматичному режимі без втручання персоналу.

Таблиця 5.20 – Узагальнюючі техніко-економічні показники

Показники	Значення
Річний випуск продукції, од.	40
Капіталовкладення, грн.	253100
Собівартість продукції, грн.	56308
Ціна продукту, грн	85000
Прибуток, тис. грн.	28692
Рентабельність, %	17,9
Період повернення капіталовкладень, років	8,8

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було проведено аналіз енергетичних потоків для офісної будівлі, що проектується. Був виконаний розрахунок втрат теплової енергії та теплонадходжень, визначено енергопотребу та клас енергетичної ефективності будівлі за діючими нормативними документами. В результаті аналізу було виявлено, що запропонований у проекті склад огорожуючих конструкцій є задовільним, адже опір теплопередачі по кожному елементі задовольняє нормативному. Було розраховано клас енергетичної ефективності будівлі (отримане значення – ), що враховує значення сезонної ефективності виробництва тепла запропонованим у проекті теплогенератором – звичайним газовим котлом.

Також було розраховано класи енергетичної ефективності будівлі для трьох різних випадків – при застосуванні газового конденсаційного котла, теплового насосу типу «повітря-вода» та «повітря-грунт». У першому випадку отримано результат – клас В, у двох інших – клас А.

Для підвищення комфорту та автоматизації управління системою опалення було запропоновано використання функціональної системи автоматизації опалення зі застосуванням термоелектричних приводів, які будуть встановлені на розподільчу гребінку та отримуватимуть сигнал від мастер-контролеру.

Аналіз системи електрозабезпечення дозволив виявити, що вказана за проектом система освітлення не є ефективною, в результаті чого була запропонована заміна джерел світла. Для підвищення комфорту керування приладами електроспоживання даною роботою пропонується застосування розумних розеток, а для комфорту аналізу та моніторингу споживання електричної енергії – впровадження ASCOE.

Використовуючи програмне середовище GeoTSol було промодельоване річне споживання та виробництва енергії для системи з тепловим насосом типу «грунт-вода», а також розраховано необхідні кількість та довжину геотермальних зондів.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теплові насоси повітря-вода, застосування в системах опалення різних країн <https://aw-therm.com.ua/energiya-iz-vozduha>.
2. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [Дата введення 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. - К.: Укрархбудінформ, 2011. - 123 с. - (Національний стандарт України).
3. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель: наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України від 11.07.2018 р. № 169. Офіційний вісник України. 2018. № 55. С. 301.
4. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні / ДСТУ-Н Б А.2.2-12: 2015 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2015, - 199 с.
5. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006.
6. Переваги профільної системи REHAU GENEО Rau-Fipro X [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.rehau.com/ua-uk/stattyageneo-rau-fipro-x>.
7. Входные двери Thermopro [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dobbi.net.ua/katalog/thermosafe-thermocarbon.pdf>
8. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво: ДБН В.2.5.-64:2012 – [Чинні від 2013-03-01, Уведено вперше] // Мінрегіон України. – К.: Укрархбудінформ, 2012. –122 с. – (Державні будівельні норми України).
9. Danfoss Icon: Рішення для систем опалення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1ckk4HNvOJZOmSZ9KzGe0w6PaLhYw6VwO/view>.

10. Система локальної рекуперації: [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://portal.vaillant.ua/catalogue\\_data/presentation/Prezentaciya\\_VAR\\_60.pdf](https://portal.vaillant.ua/catalogue_data/presentation/Prezentaciya_VAR_60.pdf).
11. Тарифи на електроенергію [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kyiv.yasno.com.ua/b2c-tariffs>.
12. Правила улаштування електроустановок. □ [Чинні від 2017–08–21] // Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
13. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення: ДБН В.2.5-23-2010. – [Чинні від 2010–10–01] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2010. – 103 с. – (Державні будівельні норми України).
14. Силові кабелі [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://kps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-bumajnoi-izolyaciei/aabl-1kv/kabel-aabl-3x25\\_1x16.html](https://kps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-bumajnoi-izolyaciei/aabl-1kv/kabel-aabl-3x25_1x16.html).
15. Портал Vaillant [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://kp.vaillant.ua/>.
16. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги: ДСТУ 4472:2005. – [Чин. від 2006-07-01]– К.: Мінрегіон, 2005. – 123 с. – (Державний стандарт України).
17. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2011, IDT)/ ДСТУ ISO 50001:2014 [Чинні від 2015-01-01] // Мінекономрозвитку України. – К., 2014. – 23с. – (Національний стандарт України).
18. Стартап-проект: Рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації «Розроблення стартап-проекту» / П.В Круш, Н.А. Шевчук, О.І. Андрусь / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні тестові дані. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 50 с.

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1– Розрахунок навантаження на ЩС

Початкові дані										Проміжні потужності		$n_{p.e}$	$n_e$	$K_p$	Розрахункові потужності			
За умовою						Довідникові			$P_p$ , кВт						$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВт·А		
Найменування ЕП	$n$ , од	Номінальна потужність, кВт				$p_{н.i.max} / p_{н.i.min}$	$k_B / K_B$	$\cos\varphi$		$\operatorname{tg}\varphi$								
		$P_{нi}$	$P_{н\Sigma}$	$p_{н.i.max}$	$p_{н.i.min}$													
1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Холодильник	1	0,5	0,5				0,8	0,75	0,88	0,4	0,35							
Чайник	1	1,2	1,2				0,7	0,7	1,02	0,84	0,86							
Піч НВЧ	1	1,8	1,8				0,7	0,9	0,48	1,26	0,61							
Кавомашина	1	1,8	1,8				0,7	0,7	1,02	1,26	1,29							
Насос СО	2	0,4	0,8				0,75	0,60	1,33	0,6	0,80							
Кондиціонер	6	1,1	6,6				0,70	0,85	0,62	4,62	2,86							
Рушникосушка	1	0,8	0,8				0,80	0,70	1,02	0,64	0,65							
Побутова техніка	13		11,9	1,8	0,4	4,5	0,808			9,62	7,42	13,2	13	0,9	8,66	7,42	11,40	
Комп'ютер	20	0,6	12				0,8	0,9	0,48	9,6	4,65							
Принтер	5	0,5	2,5				0,7	0,9	0,48	1,75	0,85							
Телевізор	7	0,3	2,1				0,6	0,6	1,33	1,26	1,68							
Проектор	1	0,25	0,25				0,7	0,8	0,75	0,175	0,13							
Офісна техніка	33		16,85	0,6	0,25	2,4	0,8			12,785	7,31	56,17	33	1	12,79	8,04	15,10	
ПТ+ОТ шини НН	46		28,75	1,8	0,25	7,20	0,8			22,405	14,73	31,94	31	0,75	16,80	11,047	20,11	
ЩО															4,4	2,76	5,19	
шини НН															21,20	13,81	25,30	
Застосування ТН																		
Побутова техніка	13		11,9	1,8	0,4	4,5	0,808			9,62	7,42	13,2	13	0,9	8,66	7,42	11,40	
Офісна техніка	33		16,85	0,6	0,25	2,4	0,8			12,785	7,31	56,17	33	1	12,79	8,04	15,10	
ТН	1	14,4	14,4	14,4	14,4	1	1	0,75	0,88	14,4	12,69961	1	1	1	14,4	15,84	21,41	
ПТ+ОТ+ТН шини НН	47		43,15	14,4	0,25	57,60	0,9			36,805	27,43	5,993	5	0,93	34,23	25,51	42,69	
ЩО															4,4	2,76	5,19	
шини НН															38,63	28,27	47,87	

